

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-298243

(43)Date of publication of application : 26.10.2001

(51)Int.Cl.

H01S 5/343
G11B 7/125
G11B 7/22
H01S 5/022
H01S 5/22

(21)Application number : 2000-112979

(71)Applicant : SHARP CORP

(22)Date of filing : 14.04.2000

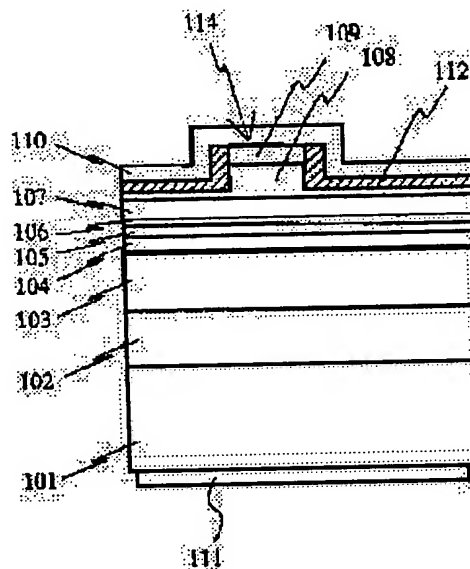
(72)Inventor : ITO SHIGETOSHI
YAMAZAKI YUKIO

(54) SEMICONDUCTOR LASER ELEMENT, SEMICONDUCTOR LASER DEVICE, AND OPTICAL INFORMATION REGENERATOR

(57)Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a nitride semiconductor laser element which can be optimally used in such applications as an optical pick-up, and to realize an optical information regenerator which has a superior light condensing property.

SOLUTION: The semiconductor laser element comprises a GaN substrate and a lower clad layer, active layer, upper clad layer, and GaN contact layer, which are deposited on the substrate in this order. The thickness of the GaN contact layer is between 0.07 μm and 80 μm . The semiconductor laser element can be used as a light source in the optical information regenerator.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-298243
(P2001-298243A)

(43) 公開日 平成13年10月26日 (2001. 10. 26)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームコード (参考)
H 0 1 S 5/343		H 0 1 S 5/343	5 D 1 1 9
G 1 1 B 7/125		G 1 1 B 7/125	A 5 F 0 7 3
	7/22		
H 0 1 S 5/022		H 0 1 S 5/022	
	5/22		5/22
審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 20 頁)			

(21) 出願番号 特願2000-112979(P2000-112979)

(22) 出願日 平成12年4月14日 (2000. 4. 14)

(71) 出願人 000005049

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

(72) 発明者 伊藤 茂穂

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ
ャープ株式会社内

(72) 発明者 山崎 幸生

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ
ャープ株式会社内

(74) 代理人 100102277

弁理士 佐々木 晴康 (外2名)

Fターム(参考) 5D119 AA43 FA05 FA17 NA04

5F073 AA13 AA74 BA04 CA20 CB02

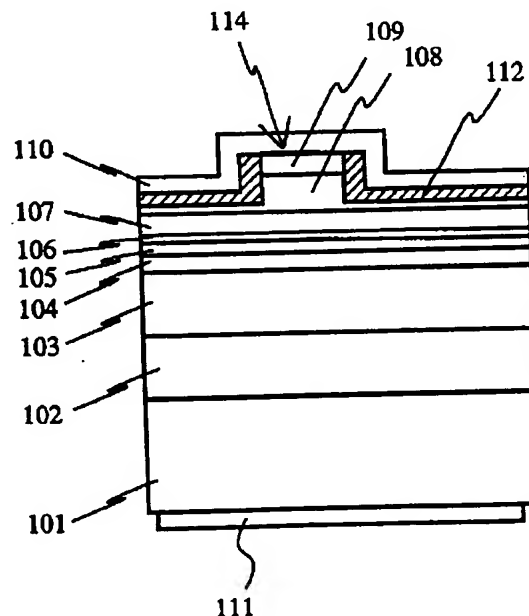
CB07 DA32 EA15 EA19 FA21

(54) 【発明の名称】 半導体レーザ素子、半導体レーザ装置および光学式情報再生装置

(57) 【要約】

【課題】 光ピックアップ等へ応用して最適な窒化物半導体レーザ素子を提供し、また、集光特性の優れた光学式情報再生装置を実現する。

【解決手段】 本発明の半導体レーザ素子は、GaN基板と、該基板に順次積層された下部クラッド層と、活性層と、上部クラッド層と、GaNコンタクト層とを備えた半導体レーザ素子であって、前記GaNコンタクト層の膜厚が、0.07 μ m以上80 μ m以下であることを特徴とする。また、本発明の光学式情報再生装置は上記半導体レーザ素子を光源として備える。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 GaN基板と、該基板上に順次積層された下部クラッド層と、活性層と、上部クラッド層と、GaNコンタクト層とを備えた半導体レーザ素子であって、前記GaNコンタクト層の膜厚が、 $0.07\mu\text{m}$ 以上 $80\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項2】 前記GaNコンタクト層の膜厚が、 $0.12\mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする請求項1に記載の半導体レーザ素子。

【請求項3】 前記半導体レーザ素子の発振光の導波モード等価屈折率 n_{eq} と、前記GaNコンタクト層の屈折率 n_{GaN} との間に、 $n_{eq} \geq n_{GaN}$ の関係が成立することを特徴とする請求項1または2に記載の半導体レーザ素子。

【請求項4】 GaN基板と、該基板上に順次積層されたAlGaInNPAs下部クラッド層（エネルギーバンドギャップ E_a [eV]）と、AlGaInNPAs下部ガイド層（膜厚 d_1 [μm]、エネルギーバンドギャップ E_1 [eV]）と、AlGaInNPAsからなる活性層（発光波長 λ [nm]）と、AlGaInNPAs上部ガイド層（膜厚 d_2 [μm]、エネルギーバンドギャップ E_2 [eV]）と、AlGaInNPAs上部クラッド層（エネルギーバンドギャップ E_a [eV]）と、前記GaNコンタクト層とを備えたことを特徴とする請求項1ないし3のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項5】 前記下部クラッド層および前記上部クラッド層のエネルギーバンドギャップを、 $3.5 \leq E_a \leq 3.9$ かつ $3.5 \leq E_b \leq 3.9$ の範囲に設定し、さらに、前記下部ガイド層および前記上部ガイド層の膜厚とエネルギーバンドギャップを、 $E \leq 3.492 - 0.02746 / (d - 0.035)$ かつ、 $E_1 > 1.240 / \lambda$ かつ、 $E_2 > 1.240 / \lambda$

【ただし、

$$d = (d_1 + d_2) / 2$$

$$E = (E_1 \cdot d_1 + E_2 \cdot d_2) / (d_1 + d_2)$$

の範囲に設定してなることを特徴とする請求項4に記載の半導体レーザ素子。

【請求項6】 GaN基板と、該基板上に順次積層された $\text{Al}_{x1}\text{Ga}_{1-x1}\text{N}$ ($0.05 \leq x_1 \leq 0.2$) 下部クラッド層と、 $\text{In}_{y1}\text{Ga}_{1-y1}\text{N}$ ($0 < y_1 < w$) 下部ガイド層（膜厚 d_1 [μm]）と、 $\text{In}_w\text{Ga}_{1-w}\text{N}$ ($0 < w < 1$) 井戸層と $\text{In}_v\text{Ga}_{1-v}\text{N}$ ($0 \leq v < w$) 障壁層との交互多層構造からなる活性層（膜厚 W_a [μm]）と、 $\text{In}_{y2}\text{Ga}_{1-y2}\text{N}$ ($0 < y_2 < w$) 上部ガイド層（膜厚 d_2 [μm]）と、 $\text{Al}_{x2}\text{Ga}_{1-x2}\text{N}$ ($0.05 \leq x_2 \leq 0.2$) 上部クラッド層と、前記GaNコンタクト層とを備えたことを特徴とする請求項1ないし3の

いずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項7】 前記下部ガイド層および前記上部ガイド層の膜厚と組成を、 $0.06 \leq d_1 + d_2 \leq 0.1$ かつ $0.06 \leq y_1$, $0.06 \leq y_2$ 、もしくは、 $0.1 < d_1 + d_2 \leq 0.15$ かつ $0.04 \leq y_1$, $0.04 \leq y_2$ 、もしくは、 $0.15 < d_1 + d_2 \leq 0.2$ かつ $0.03 \leq y_1$, $0.03 \leq y_2$ 、もしくは、 $0.2 < d_1 + d_2 \leq 0.3$ かつ $0.015 \leq y_1$, $0.015 \leq y_2$ 、もしくは、 $0.3 < d_1 + d_2$ かつ $0.01 \leq y_1$, $0.01 \leq y_2$ 、のいずれかの範囲に設定してなることを特徴とする請求項6に記載の半導体レーザ素子。

【請求項8】 前記下部ガイド層および前記上部ガイド層の膜厚と組成を、

$$y \geq 0.003 / d - 0.003 + (0.007 - 0.22Wa) + (-0.010 + 0.10x)$$

【ただし、

$$d = (d_1 + d_2) / 2,$$

$$y = (y_1 \cdot d_1 + y_2 \cdot d_2) / (d_1 + d_2),$$

$$x = (x_1 + x_2) / 2]$$

の範囲に設定してなることを特徴とする請求項6に記載の半導体レーザ素子。

【請求項9】 基台と、基台上に積載された請求項1ないし8のいずれかに記載の半導体レーザ素子とを備えた半導体レーザ装置であって、前記半導体レーザ素子が、GaNコンタクト層側を基台に接着して積載されることを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項10】 光学情報記録盤にレーザ光を照射し、その反射光を検出することにより、該光学情報記録盤に記録された情報を再生する光学式情報再生装置であって、請求項1ないし8のいずれかに記載の半導体レーザ素子を光源として用いることを特徴とする光学式情報再生装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、窒化ガリウム系半導体を用いた半導体レーザ素子およびそれを用いた半導体レーザ装置、光学式情報再生装置に関し、特に、良質な端面ミラーを有する半導体レーザ素子に関連する。

【0002】

【従来の技術】 GaN、InN、AlNおよびそれらの混晶半導体に代表される窒化物系半導体材料により、青色から紫外領域で発光する半導体レーザ素子が試作されている。図18は、ジャパニーズ=ジャーナル=オブ=アプライド=フィジックス38号L184~L186ページ (Masaru KURAMOTO et al. : Jpn. J. Appl. Phys. vol. 38 (1999) pp. L184-L186) に報告された、波長405nmで発振する窒化物半導体レーザ装置を示す図である。本半導体レーザ素子は、n-GaN基

板901 (膜厚 $100\mu\text{m}$) 上に、 $n\text{-Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ 下部クラッド層902 (膜厚 $1\mu\text{m}$)、 $n\text{-Ga}$ N下部ガイド層903 (膜厚 $0.1\mu\text{m}$)、 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ (膜厚 3nm) / $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ (膜厚 5nm) - 3重量子井戸活性層904、 $p\text{-Al}_{0.19}\text{Ga}_{0.81}\text{N}$ キャップ層905 (膜厚 20nm)、 $p\text{-Ga}$ N上部ガイド層906 (膜厚 $0.1\mu\text{m}$)、 $p\text{-Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ 上部クラッド層907 (膜厚 $0.5\mu\text{m}$)、 $p\text{-Ga}$ Nコンタクト層908 (膜厚 $0.05\mu\text{m}$) が順次積層形成されており、また、これらの上下には電極909が形成されている。さらに、ミラー端面が劈開法により形成されている。本レーザ素子では、活性層およびガイド層がクラッド層に挟まれた導波構造を有しており、活性層で発光した光は、この導波構造内に閉じ込められ、また、ミラー端面がレーザ共振器ミラーとして機能し、レーザ発振動作を生じる。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来の半導体レーザ素子では、以下に示すような問題が生じる。本発明者らにより上記構造の半導体レーザ素子を作製したところ、導波路部分のミラー端面において、エピタキシャル成長層 ($n\text{-Ga}$ N基板901よりも上の各半導体層) の断面部分、特に、表面側 (基板と反対側) 近くの領域で、良好な劈開面が得られないことがあった。ここで、良好でない劈開面とは、導波路を構成する成長層部分に垂直の断面からずれて、段差ができた、あるいは、 Ga N基板部の劈開面と面角度が違っている部分があったり、うねりができたりすることを行う。

【0004】このように、従来の技術によれば、良好なミラー端面が得られないことがあり、このような場合、ミラー反射率の変動によって閾値や微分効率などの素子特性のばらつきを生じてしまうだけでなく、光放射面が荒れていることによって、FFP (ファーフールドパターン) がなだらかな単峰とならず、ピークがいくつかに別れたり、リップルが生じるなどの光学的特性の悪化が生じてしまう。こういったFFP異常が生じることは、特に、光ピックアップ等への応用において、集光が不十分になったり、極端な場合には、迷光の発生の原因になって好ましくない。この様に、ミラー端面の欠けや凹凸は表面側 (基板と反対側) に生じやすいのであるが、窒化物系半導体レーザ素子においては、 p 側クラッド層の抵抗が高く、素子電圧を低減するために、活性層の位置が非常に表面に近い (一般に $1\mu\text{m}$ 以下) ことから、導波路部分に影響する可能性が高く、素子製造上の歩留まりの低下をきたしている。

【0005】本発明は、上記問題を解消し、光ピックアップ等へ応用して最適な窒化物半導体レーザ素子を提供し、また、集光特性の優れた光学式情報再生装置を実現することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明の半導体レーザ素子は、 Ga N基板と、該基板上に順次積層された下部クラッド層と、活性層と、上部クラッド層と、 Ga Nコンタクト層とを備えた半導体レーザ素子であって、前記 Ga Nコンタクト層の膜厚が、 $0.07\mu\text{m}$ 以上 $80\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする。

【0007】本発明の半導体レーザ素子は、前記 Ga Nコンタクト層の膜厚が、 $0.12\mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする。

【0008】本発明の半導体レーザ素子は、前記半導体レーザ素子の発振光の導波モード等価屈折率 n_{eq} と、前記 Ga Nコンタクト層の屈折率 n_{GaN} との間に、 $n_{eq} \geq n_{GaN}$ の関係が成立することを特徴とする。

【0009】本発明の半導体レーザ素子は、 Ga N基板と、該基板上に順次積層された AlGaInNPA s下部クラッド層 (エネルギーバンドギャップ E_a [eV]) と、 AlGaInNPA s下部ガイド層 (膜厚 d_1 [μm]、エネルギーバンドギャップ E_1 [eV]) と、 AlGaInNPA sからなる活性層 (発光波長 λ [nm]) と、 AlGaInNPA s上部ガイド層 (膜厚 d_2 [μm]、エネルギーバンドギャップ E_2 [eV]) と、 AlGaInNPA s上部クラッド層 (エネルギーバンドギャップ E_b [eV]) と、前記 Ga Nコンタクト層とを備えたことを特徴とする。

【0010】本発明の半導体レーザ素子は、前記下部クラッド層および前記上部クラッド層のエネルギーバンドギャップを、 $3.5 \leq E_a \leq 3.9$ かつ $3.5 \leq E_b \leq 3.9$ の範囲に設定し、さらに、前記下部ガイド層および前記上部ガイド層の膜厚とエネルギーバンドギャップを、

$$E \leq 3.492 - 0.02746 / (d - 0.035) \text{ かつ、} E_1 > 1240 / \lambda \text{ かつ、} E_2 > 1240 / \lambda$$

【ただし、

$$d = (d_1 + d_2) / 2 \\ E = (E_1 \cdot d_1 + E_2 \cdot d_2) / (d_1 + d_2) \text{】}$$

の範囲に設定してなることを特徴とする。

【0011】本発明の半導体レーザ素子は、 Ga N基板と、該基板上に順次積層された $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ ($0.05 \leq x_1 \leq 0.2$) 下部クラッド層と、 $\text{In}_{y_1}\text{Ga}_{1-y_1}\text{N}$ ($0 < y_1 < w$) 下部ガイド層 (膜厚 d_1 [μm]) と、 $\text{In}_w\text{Ga}_{1-w}\text{N}$ ($0 < w < 1$) 井戸層と $\text{In}_v\text{Ga}_{1-v}\text{N}$ ($0 \leq v < w$) 障壁層との交互多層構造からなる活性層 (膜厚 W_a [μm]) と、 $\text{In}_{y_2}\text{Ga}_{1-y_2}\text{N}$ ($0 < y_2 < w$) 上部ガイド層 (膜厚 d_2 [μm]) と、 $\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ ($0.05 \leq x_2 \leq 0.2$) 上部クラッド層と、前記 Ga Nコンタクト層とを備えたことを特徴とする。

【0012】本発明の半導体レーザ素子は、前記下部ガ

イド層および前記上部ガイド層の膜厚と組成を、 $0.06 \leq d1 + d2 \leq 0.1$ かつ $0.06 \leq y1$, $0.06 \leq y2$ 、もしくは、 $0.1 < d1 + d2 \leq 0.15$ かつ $0.04 \leq y1$, $0.04 \leq y2$ 、もしくは、 $0.15 < d1 + d2 \leq 0.2$ かつ $0.03 \leq y1$, $0.03 \leq y2$ 、もしくは、 $0.2 < d1 + d2 \leq 0.3$ かつ $0.015 \leq y1$, $0.015 \leq y2$ 、もしくは、 $0.3 < d1 + d2$ かつ $0.01 \leq y1$, $0.01 \leq y2$ 、のいずれかの範囲に設定してなることを特徴とする。

【0013】本発明の半導体レーザ素子は、前記下部ガイド層および前記上部ガイド層の膜厚と組成を、 $y \geq 0.003/d - 0.003 + (0.007 - 0.22Wa) + (-0.010 + 0.10x)$

【ただし、

$$d = (d1 + d2) / 2,$$

$$y = (y1 \cdot d1 + y2 \cdot d2) / (d1 + d2),$$

$$x = (x1 + x2) / 2]$$

の範囲に設定してなることを特徴とする。

【0014】本発明の半導体レーザ装置は、基台と、基台上に積載された前述のいずれかの半導体レーザ素子とを備えた半導体レーザ装置であって、前記半導体レーザ素子が、GaNコンタクト層側を基台に接着して積載されることを特徴とする。

【0015】本発明の光学式情報再生装置は、半導体レーザ装置は、光学情報記録盤にレーザ光を照射し、その反射光を検出することにより、該光学情報記録盤に記録された情報を再生する光学式情報再生装置であって、前述のいずれかの半導体レーザ素子を光源として用いることを特徴とする。

【0016】本発明の半導体レーザ素子の構造を、図13の該略図を参照して説明する。n-GaN基板501 (膜厚30~300 μ m)。n-GaN中間層502 (膜厚0~30 μ m)、n-InGaInN (0.01 $\leq c \leq 0.2$) 中間層512 (膜厚0~0.3 μ m)、n-Al_{x1}Ga_{1-x1}N (0.05 $\leq x1 \leq 0.3$) 下部クラッド層503 (膜厚0.4~10 μ m)、n-In_{y1}Ga_{1-y1}N (y1 $\leq w$) 下部ガイド層504 (膜厚d1 [μ m])、In_wGa_{1-w}N井戸層とIn_vGa_{1-v}N (v < w) 障壁層との交互多層構造からなる量子井戸活性層505 (発光波長370~450nm、総膜厚Wa [μ m])、Al_zGa_{1-z}N (0 $\leq z1 \leq 0.3$) キャップ層506 (膜厚0~50nm)、p-In_{y2}Ga_{1-y2}N (y2 $\leq w$) 上部ガイド層507 (膜厚d2 [μ m])、p-Al_{z1}Ga_{1-z1}N (0 $\leq z1 \leq 0.3$) キャップ層513 (膜厚0~50nm)、p-Al_{z2}Ga_{1-z2}N (0.05 $\leq x1 \leq 0.2$) 上部クラッド層508 (膜厚0.4~10 μ m)、p-GaNコンタクト層509 (膜厚0.07~80 μ m、特にロット落ちがなく、高歩留まりで半導体レーザ素子を作製するために、好ましくは、0.12~80 μ m)。さらに、p-Ga

Nコンタクト層509の上面上は、電極 (例えば、Co, Ni, Cu, Pd, Ag, Ir, Pt, Au, Sc, Ti, V, Cr, Y, Zr, Nb, Mo, La, Hf, Ta, W, Al, Tl, のいずれかを含む金属) 510が形成されており、また、n-GaN基板の裏面には電極 (例えば、Co, Ni, Cu, Pd, Ag, Ir, Pt, Au, Sc, Ti, V, Cr, Y, Zr, Nb, Mo, La, Hf, Ta, W, Al, Tl, のいずれかを含む金属) 511が形成されている。

【0017】p-GaNコンタクト層509を厚くしても発振閾値の上昇を招かず、また、垂直方向のFFPの劣化を防止するために、

$$d = (d1 + d2) / 2$$

$$y = (y1 \cdot d1 + y2 \cdot d2) / (d1 + d2)$$

$$x = (x1 + x2) / 2$$

$$5 \leq Wa \leq 60$$

$$y \geq 0.003/d - 0.003 + (0.007 - 0.22Wa) + (-0.010 + 0.10x)$$

の関係式を満たすことが望ましい。ここで、yの下限を、さらに

$$y \geq 0.003/d + 0.002 + (0.007 - 0.22Wa) + (-0.010 + 0.10x)$$

と限定することが好ましい。また、上記本発明の半導体レーザ装置において、好ましくは、

$$y1 \geq 0.01$$

$$y2 \geq 0.01$$

$$y \leq 0.16 - 0.6d$$

であり、さらに好ましくは、

$$y1 \geq 0.01$$

$$y2 \geq 0.01$$

$$y \leq 0.13 - 0.6d$$

である。最も好ましい様態として、さらに、

$$y1 \geq 0.02$$

$$y2 \geq 0.02$$

$$d \leq 0.12$$

の範囲に限定される。

【0018】また、本発明の半導体レーザ素子の別の構成を、図14の該略図を参照して説明する。n-GaN基板601 (膜厚30~300 μ m)。n-AlGaInNPAs中間層602 (膜厚0~30 μ m)、n-AlGaInNPAs下部クラッド層603 (エネルギーバンドギャップEa [eV]、膜厚0.4~10 μ m)、n-AlGaInNPAs下部ガイド層604 (エネルギーバンドギャップE1 [eV]、膜厚d1 [μ m])、AlGaInNPAs井戸層とAlGaInNPAs障壁層との交互多層構造からなる量子井戸活性層605 (発光波長 λ [nm]、総膜厚Wa [μ m])、AlGaInNPAsキャップ層606 (膜厚0~100nm)、p-AlGaInNPAs上部ガイド層607 (エネルギーバンドギャップE2 [eV]、

膜厚 d_2 [μm])、 $p\text{-AlGaInNPA}$ s上部クラッド層608 (エネルギーバンドギャップ E_b [eV]、膜厚 $0.3 \sim 1.0 \mu\text{m}$)、 $p\text{-GaN}$ コンタクト層609 (膜厚 $0.07 \sim 80 \mu\text{m}$ 、特にロット落ちがなく、高歩留まりで半導体レーザ素子を作製するために、好ましくは、 $0.12 \sim 80 \mu\text{m}$)である。

【0019】 $p\text{-GaN}$ コンタクト層609を厚くしても発振閾値の上昇を招かず、また、垂直方向のFFPの劣化を防止するために、

$$d = (d_1 + d_2) / 2,$$

$$E = (E_1 \cdot d_1 + E_2 \cdot d_2) / (d_1 + d_2)$$

$$3.5 \leq E_a \leq 3.9$$

$$3.5 \leq E_b \leq 3.9$$

$$E \leq 3.492 - 0.02746 / (d - 0.035), E_1 > 1240 / \lambda$$

$$E_2 > 1240 / \lambda$$

の関係式を満たすことが望ましい。

【0020】なお、下部ガイド層とは、下部クラッド層と、活性層とに挟まれた下部クラッド層よりもエネルギーバンドギャップの小さい層のことであり、必ずしも一層の構成である必要はない。2、3、4、5層等の複数の組成の異なる InGaInNPA s薄膜あるいは GaN あるいは AlGaInNPA s薄膜の積層構造や、さらに多数の薄膜からなる超格子積層構造であってもよく、この場合、各薄膜の膜厚で加重平均した組成を下部ガイド層の組成とする。また、上部ガイド層とは、上部クラッド層と、活性層とに挟まれた上部クラッド層よりもエネルギーバンドギャップの小さい層のことであり、必ずしも一層の構成である必要はないことは、下部ガイド層と同様である。

【0021】本発明の光学式情報再生装置は、光学情報記録盤にレーザ光を照射し、その反射光を検出することにより、該光学情報記録盤に記録された情報を再生する光学式情報再生装置であって、前述の半導体レーザ素子を光源として用いることを特徴とし、これにより、従来の技術の問題点が解決される。

【0022】

【発明の実施の形態】
【実施の形態1】図1は本発明の半導体レーザ素子を示す断面図である。本半導体レーザ素子は、 $n\text{-GaN}$ 基板101 (膜厚 $100 \mu\text{m}$) 上に、順次、 $n\text{-GaN}$ 中間層102 (膜厚 $3 \mu\text{m}$)、 $n\text{-Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ ($x_1 = 0.1$) 下部クラッド層103 (膜厚 $1.2 \mu\text{m}$)、 $n\text{-GaN}$ 下部ガイド層104 (膜厚 $0.1 \mu\text{m}$)、 $\text{In}_w\text{Ga}_{1-w}\text{N}$ ($0 < w < 1$) 井戸層と $\text{In}_v\text{Ga}_{1-v}\text{N}$ ($0 \leq v < w$) 障壁層との交互多層構造からなる3重量子井戸活性層105 (発光波長 400nm 、総膜厚 15nm)、 $p\text{-AlGaInNPA}$ キャップ層106 (膜厚 20nm)、 $p\text{-GaN}$ 上部ガイド層107 (膜厚 $0.1 \mu\text{m}$)、 $p\text{-Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ ($x_2 = 0.1$) クラッド層108 (膜厚 $0.4 \mu\text{m}$)、 $p\text{-GaN}$ コンタクト層109 (膜厚 $0.12 \mu\text{m}$)の各窒化物系半導体層が形成されている。さらに、 $p\text{-GaN}$ コンタクト層109の上面には、金属電極 (例えば、 Pd/Au 、 $\text{Ni}/\text{Pd}/\text{Au}$ 、 $\text{Pd}/\text{Pt}/\text{Au}$ 、 $\text{Pd}/\text{Mo}/\text{Au}$ 、 $\text{Pd}/\text{W}/\text{Au}$ 等) 110が形成されており、また、 $n\text{-GaN}$ 基板の裏面には金属電極 (例えば、 Ti/Al 、 Zr/Al 、 Hf/Al など) 111が形成されている。 p クラッド層108の一部および $p\text{-GaN}$ コンタクト層109は、リッジストライプ形状に形成されており、半導体レーザの横方向光閉じ込め構造を構成している。また、金属電極110は、リッジストライプ部分のみ半導体層と接し、その他の部分には、半導体層 ($p\text{-Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ ($x_2 = 0.1$) クラッド層108および $p\text{-GaN}$ コンタクト層の一部) とのあいだに絶縁膜112が介装されているので、電流も、このリッジストライプ部分のみを流れることとなり、電流狭窄構造も実現されている。

【0023】次に、本実施の形態の半導体レーザ装置の作製方法について説明する。

【0024】始めに、(0001)面を結晶成長用面とする $n\text{-GaN}$ 基板101上に、 $n\text{-GaN}$ 中間層102 (膜厚 $3 \mu\text{m}$)、 $n\text{-Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ ($x_1 = 0.1$) 下部クラッド層103 (膜厚 $1.2 \mu\text{m}$)、 $n\text{-GaN}$ 下部ガイド層104 (膜厚 $0.1 \mu\text{m}$)、 $\text{In}_w\text{Ga}_{1-w}\text{N}$ ($0 < w < 1$) 井戸層と $\text{In}_v\text{Ga}_{1-v}\text{N}$ ($0 \leq v < w$) 障壁層との交互多層構造からなる3重量子井戸活性層105 (発光波長 410nm 、総膜厚 15nm)、 AlGaInNPA キャップ層106 (膜厚 20nm)、 $p\text{-GaN}$ 上部ガイド層107 (膜厚 $0.1 \mu\text{m}$)、 $p\text{-Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ ($x_2 = 0.1$) クラッド層108 (膜厚 $0.4 \mu\text{m}$)、 $p\text{-GaN}$ コンタクト層109 (膜厚 $0.12 \mu\text{m}$)をMOCVD法 (有機金属化学気相成長法) により、順次積層形成する。その後、エッチングにより、 $p\text{-Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ ($x_2 = 0.1$) クラッド層108、 $p\text{-GaN}$ コンタクト層109を、幅 $2 \mu\text{m}$ のストライプ状の部分を残して除去することによって、図1に示されるリッジストライプ114を作製する。次いで、ストライプ以外の部分を SiO_2 もしくは Al_2O_3 等の絶縁膜で覆ったのちに、上面に金属電極110を形成する。金属電極110としては、 Pd/Au 、 $\text{Ni}/\text{Pd}/\text{Au}$ 、 $\text{Pd}/\text{Pt}/\text{Au}$ 、 $\text{Pd}/\text{Mo}/\text{Au}$ 、 $\text{Pd}/\text{W}/\text{Au}$ のいずれを用いてもよく、総膜厚として、 $0.05 \sim 3 \mu\text{m}$ 程度とすればよい。その後、 $n\text{-GaN}$ 基板101の裏面側を研磨により削ることで、基板の厚みを調整する。良好な劈開端面を得やすくなるためには、基板の厚みを $50 \sim 150 \mu\text{m}$ に調整しておくことが好ましく、本実施の形態では $100 \mu\text{m}$ とした。その後、基板裏面に金属電極111を形成する。金属電極111としては、 Ti/Al 、 Zr/Al 、 Hf/Al 、 W/Al のいずれを用いてもよく、そ

の総膜厚として、 $0.05 \sim 3 \mu\text{m}$ 程度とすればよい。さらに、金属電極111を覆って、 Mo/Au 、 Mo/Ni 、 W/Au 、 Cr/Ni 等の積層構造を形成し、ワイヤーボンディングあるいはダイボンディングが容易に行えるように工夫してもよい。

【0025】その後、以下に示す工程によりウェハを劈開し、ミラー端面を形成する。なお、このウェハとは前述の半導体レーザ素子が複数並んだもので、このウェハを201とする。本工程については、図2を参照して説明する。図2はウェハを上面から見た図である。上述の工程で得られたウェハ201の表面側に、スクライビング法により、ウェハ端部に長さ1mm程のスクライブ溝202を形成する。これは、ダイヤモンド針により表面をけがき、傷をつける工程である。なお、スクライブ溝202はGa_{0.5}N結晶の劈開面である(10-10)面に平行な方向とし、これは、上記リジストライブ114に垂直になるように、あらかじめ、リジストライブの方向が設定されている。

【0026】次に、スクライブ溝202に沿ってブレード(刃)をウェハの裏面側(n-GaN基板101の側)に当てて外力を加えることにより、スクライブ溝を起点としてウェハを分割したところ、Ga_{0.5}N結晶の劈開面である(10-10)面が劈開断面として現れた。これは、上記リジストライブに垂直な面であり、レーザ導波路の端面ミラーとして機能する。こうして、ウェハ201から、個々のレーザ素子が横に連なったレーザバーを多数得た。その後、スクライビング法、ダイシング法などの分割方法を用いて、適宜上記連なったレーザ素子をバーから切り出すことにより、個々の半導体レーザ素子(チップ)を製造した。得られた半導体レーザ素子は、ステム、リードフレーム等の基台の上に金属電極110を下にして設置し、金属電極111にワイヤーを接続するか、もしくは、金属電極111を下にして設置し、金属電極110にワイヤーを接続するかして、外部からの電力供給を行い動作させる。

【0027】本実施の形態の半導体レーザ素子においては、Ga_{0.5}N基板上に設けられた半導体レーザにおいて、 $\text{p-Al}_{x2}\text{Ga}_{1-x2}\text{N}$ ($x2=0.1$) クラッド層108(膜厚 $0.4 \mu\text{m}$)上に設けられた、p-GaNコンタクト層109の膜厚が $0.07 \mu\text{m}$ 以上であるので、良好な劈開が可能となり、従来の技術と比較して、ミラー端面に凹凸等が発生することに起因したFFPの異常が防止された。

【0028】図3に水平方向(各層の積層面に平行方向)FFPの例を示す。図3(a)は本発明の半導体レーザ素子の水平方向FFPであり、図3(b)は、従来技術同様、本実施の形態の半導体レーザ素子のp-GaNコンタクト層109の膜厚を $0.05 \mu\text{m}$ に変更して作成した比較素子の水平方向FFPの例である。本実施の形態の半導体レーザ素子においては単峰でリップルの

ほとんどないパターンが得られているのに対し、比較素子においてはいくつかのピークが見られ、パターンが異常になっている。このように水平方向FFPが不良の比較素子の、端面ミラー付近を拡大して見たものを図4に示す。図において、n-GaN基板301上に、上記n型半導体の積層体(n-GaN中間層102からn-GaN下部ガイド層104に相当する層)302、上記p型半導体の積層体303(p-GaN上部ガイド層107からp-GaNコンタクト層109に相当する層)が順次形成されており、さらに、p型半導体の積層体にはリジストライブ304が形成されている様子が示されている。なお、簡単のため、金属電極、絶縁膜は省略されている。リジストライブ304の部分には、劈開が正常に行われず、凹凸が発生している部分306が存在する。このように、導波路部分のミラー端面に凹凸が生じてしまったことにより、水平方向FFPに異常が発生しているものと考えられる。

【0029】このことを明らかにするために、本実施の形態の半導体レーザ素子から、p-GaNコンタクト層の膜厚を種々変更した半導体レーザ素子を作製し、各ロットごとに水平方向FFPが正常な素子の割合を調査した。その結果は図5に示されている。p-GaNコンタクト層の膜厚が $0.05 \mu\text{m}$ であるとき、歩留まりは、42~66%の範囲にばらつき、平均は54%しかなかった。p-GaNコンタクト層の膜厚が $0.07 \mu\text{m}$ であるとき、歩留まりは、64~90%の範囲にばらつき、平均は77%であった。p-GaNコンタクト層の膜厚が $0.10 \mu\text{m}$ であるとき、歩留まりは、64~92%の範囲にばらつき、平均は80%であった。p-GaNコンタクト層の膜厚が $0.12 \mu\text{m}$ であるとき、歩留まりは、80~94%の範囲にばらつき、平均は87%であった。p-GaNコンタクト層の膜厚が $0.2 \mu\text{m}$ であるとき、歩留まりは、84~98%の範囲にばらつき、平均は90%であった。p-GaNコンタクト層の膜厚が $0.3 \mu\text{m}$ であるとき、歩留まりは、92~98%の範囲にばらつき、平均は95%であった。p-GaNコンタクト層の膜厚が $0.5 \mu\text{m}$ であるとき、歩留まりは、92~99%の範囲にばらつき、平均は96%であった。実験において、ガウシアン関数で近似したなめらかな単峰のパターンからのずれの最大値が、ピーク強度の20%を超える場合をFFP不良と定義した。

【0030】以上のように、AlGa_{0.5}Nクラッド層の上部に設けられたGa_{0.5}Nコンタクト層の膜厚が厚いほど、FFP良品の歩留まりが向上した。このように、p-GaNコンタクト層の膜厚を、 $0.07 \mu\text{m}$ 以上とすることで、 $0.05 \mu\text{m}$ としたときの1.4倍以上もの良好な総合歩留まりが達成できた。また、p-GaNコンタクト層の膜厚を、 $0.1 \mu\text{m}$ 以上とすることで不良率が $0.05 \mu\text{m}$ としたときの約半分に減少した。また、p-GaNコンタクト層の膜厚を、 $0.12 \mu\text{m}$ 以上とす

ること、ロットごとの歩留まりのばらつきが顕著に減少し、各ロットにおける歩留まりが8割以上に安定した。Ga_{0.9}N_{0.1}コンタクト層の膜厚の上限に関しては、80 μm以下であればよく、これより厚くなると、ウェハーの全体の厚みが大きくなってしまい、かえってチップ分割が困難になってしまう。なお、このような、p-GaNコンタクト層の膜厚と、各ロットごとに水平方向FFPが正常な素子の割合の関係、すなわち、良好に劈開ができる状況は、実施の形態2以下のすべての実施の形態の素子においても同様であった。

【0031】Ga_{0.9}N_{0.1}基板上に形成された窒化物系半導体の積層構造を(10-10)面に沿って劈開しようとする場合、本実施の形態や従来例の窒化物系半導体レーザ素子のような構造では、積層中にAlGa_{0.9}Nクラッド層のような、基板とは格子定数の異なる材料で構成された層があり、この層は格子不整合による歪を内在しているために、劈開の際、劈開面上に凹凸ができやすい傾向があり、完全に平坦な面が得られにくいものと考えられる。特に凹凸は、劈開の際に加える力の集中する表面付近で生じやすいので、従来の技術では図4に示したような結果となったものと考えられる。しかし、本発明によると、少なくとも導波路部分(ストライプ部分)においては、基板と同一材料であるGa_{0.9}Nからなるコンタクト層を所定の膜厚以上付加して表面を覆ったので、劈開の際に格子不整合による歪に影響されて凹凸を生じて分断されることが減少したものである。

【0032】(実施の形態2)図6は、本実施の形態の半導体レーザ素子を示す模式図である。本実施の形態のレーザ素子は、n-GaN基板401(膜厚30~300 μm)上に、順次、n-GaN中間層402(膜厚0~30 μm)、n-Al_{x1}Ga_{1-x1}N(0.05 ≤ x₁ ≤ 0.2)下部クラッド層403(膜厚0.5 μm~10 μm)、n-In_{y1}Ga_{1-y1}N(0 < y₁ < w)下部ガイド層404(膜厚d₁ [μm])、In_wGa_{1-w}N(0 < w < 1)井戸層とIn_vGa_{1-v}N(0 ≤ v < w)障壁層との交互多層構造からなる活性層405(発光波長370~500 nm、総膜厚5~60 nm)、AlGa_{0.9}Nキャップ層406(膜厚0~20 nm)、p-In_{y2}Ga_{1-y2}N(0 < y₂ < w)上部ガイド層407(膜厚d₂ [μm])、p-Al_{x2}Ga_{1-x2}N(0.05 ≤ x₂ ≤ 0.2)クラッド層408(膜厚0.4 μm~10 μm)、p-GaNコンタクト層409(膜厚0.07 μm~80 μm)の各窒化物系半導体層が形成されている。さらに、p-GaNコンタクト層409の上面には、金属電極(例えば、Pd/Au、Ni/Pd/Au、Pd/Pt/Au等)410が形成されており、また、n-GaN基板の裏面には金属電極(例えば、Ti/Al、Zr/Al、Hf/Alなど)411が形成されている。pクラッド層408の一部およびp-GaNコンタクト層409は、リッジストライプ形状に形成さ

れており、半導体レーザの横方向光閉じ込め構造を構成している。また、金属電極410は、リッジストライプ部分のみ半導体層と接し、その他の部分には、半導体層(pクラッド層408)とのあいだに絶縁膜412が介装されているので、電流も、このリッジストライプ部分のみを流れることとなり、電流狭窄構造も実現されている。

【0033】本半導体レーザ装置において、下部ガイド層および上部ガイド層の組成および、膜厚は、発振モードの等価屈折率 n_{eq} が、p-GaNコンタクト層の屈折率 n_{GaN} との間に、 $n_{eq} \geq n_{GaN}$ の関係が成立するように設定されている。これは、次の手順により決定できる。

【0034】等価屈折率 n_{eq} は、スラブ導波路における通常の電界分布計算により求めることができ、例えば、ジャーナル・オブ・アプライド・フィジックス84号1196~1203ページ(M. J. Bergmann and H. C. Casey, Jr.: J. Appl. Phys. vol. 84 (1998) pp. 1196~1203)を参照することができる。また、電界分布計算におけるパラメタである、発振波長λ[nm]における各材料の屈折率nは、次により、求められる。発振波長λは300~800 nmの範囲とすることができる。各窒化物系材料のエネルギーバンドギャップをE_g[eV](E_g ≥ 1)とすると、屈折率は、
$$p[\lambda] = 1 / [1 / \lambda - (E_g - 3.42) / 1239.852]$$

と、

$p[\lambda] > 360.7$ のとき、

$$n(p[\lambda]) = [4.3663801 + p^2 / (p^2 - 295.92)]^{0.5}$$

$p[\lambda] \leq 360.7$ のとき、

$$n(p[\lambda]) = c_0 + c_1 \times q + c_2 \times q^2 + c_3 \times q^3 + c_4 \times q^4$$

$$q = p[\lambda] - 360$$

$$c_0 = 2.718$$

$$c_1 = 9.976e-3$$

$$c_2 = 3.005e-4$$

$$c_3 = 4.584e-6$$

$$c_4 = 2.596e-8$$

とできる。エネルギーバンドギャップE_gと各材料の組成との関係は、In_sGa_{1-s}N(0 ≤ s ≤ 1)に対しては、

$$E_g = E_{g1}[s] = 3.42(1-s) + 2.65s - 3.94s(1-s)$$

Al_tGa_{1-t}N(0 ≤ t ≤ 1)に対しては、

$$E_g = E_{g2}[t] = 3.42(1-t) + 6.2t - 1.057t(1-t)$$

In_sAl_tGa_{1-s-t}N(0 < s < 1, 0 < t < 1)に対しては、

$$E_g = \{s \times E_{g1}[s+t] + t \times E_{g2}[s+t]$$

$t\} / (s+t)$

とすることができる。GaInNAs、GaInNPを始めとして、組成式AlGaInNPAsで表わされる一般の窒化物半導体に対して、組成とエネルギーギャップとの関係は、詳らかでないが、任意のAlGaInNPAsのエネルギーギャップは、フォトルミネッセンス発光エネルギーより知ることができる。これにより、本発明において、 n_{eq} はここに規定されたパラメタを用い、上述のとおり、スラブ導波路における電界分布計算により計算されるものである。

【0035】レーザ構造を構成する各層において、井戸層よりもエネルギーギャップの小さい組成の半導体からなる層と金属からなる層を除いて、吸収係数は小さいとして、無視してよい。また、基板である層は、通常膜厚 $50\mu\text{m}$ 以上であり、LD導波路構造のコア部分である下部ガイド層～上部ガイド層の膜厚（通常 $0.4\mu\text{m}$ 以下）と比較してかなり大きいので、基板の下面の導波モードに与える影響は小さいとして、無視してよい。すなわち、基板である層の厚みを無限大として電界分布計算をすればよい。以上の手順により、本実施の形態におけるInGaIn下部ガイド層、InGaIn上部ガイド層の膜厚・組成が $n_{eq} \geq n_{GaIn}$ となるように選定することができる。

【0036】以上の手順により、結果として、およそ、 $0.06 \leq d_1 + d_2$ 、 $0.01 \leq y_1$ 、 $0.01 \leq y_2$

の範囲内に上記条件を満たす場合が存在することがわかる。つまり、

$0.06 \leq d_1 + d_2 \leq 0.1$ の場合には、 $0.06 \leq y_1$ 、 $0.06 \leq y_2$

$0.1 < d_1 + d_2 \leq 0.15$ の場合には、 $0.04 \leq y_1$ 、 $0.04 \leq y_2$

$0.15 < d_1 + d_2 \leq 0.2$ の場合には、 $0.03 \leq y_1$ 、 $0.03 \leq y_2$

$0.2 < d_1 + d_2 \leq 0.3$ の場合には、 $0.015 \leq y_1$ 、 $0.015 \leq y_2$

$0.3 < d_1 + d_2$ の場合には、 $0.01 \leq y_1$ 、 $0.01 \leq y_2$ である。

【0037】ここで、下部ガイド層とは、AlGaIn下部クラッド層と、活性層とに挟まれた、Alを構成元素として含まない層のことであり、必ずしも一層の構成である必要はない。2、3、4、5層等の複数の組成の異なるInGaIn薄膜あるいはGaIn薄膜の積層構造やさらに多数の薄膜からなる超格子積層構造であってもよく、この場合、各薄膜の膜厚で加重平均した組成を下部ガイド層のIn組成 y_1 とすればよい。また、上部ガイド層とは、AlGaIn上部クラッド層と、活性層とに挟まれた、Alを構成元素として含まない層のことであり、必ずしも一層の構成である必要はない。2、3、4、5層等の複数の組成の異なるInGaIn薄膜あるいは

はGaIn薄膜の積層構造やさらに多数の薄膜からなる超格子積層構造であってもよく、この場合、各薄膜の膜厚で加重平均した組成を上部ガイド層のIn組成 y_2 とすればよい。

【0038】次に、上述の条件を満たすように、層構造を限定する理由について述べる。

【0039】実施の形態1の半導体レーザ素子のように、ガイド層にGaInを用いた半導体レーザ素子では、p-GaInコンタクト層の膜厚を厚くすると、半導体レーザ積層構造に垂直な方向のFFPにリップルが生じやすくなる傾向が見られた。図7における1002、1003はこのようなリップルが顕著に生じた例であり、このときのp-GaInコンタクト層厚は、 $0.4\mu\text{m}$ である。 $+20^\circ$ 付近にサブピークが生じているほか、多数のリップルが見られる。このようなリップルは必ずしも現れるわけではなく、1001のように10%以下と良好な結果の場合もあるが、素子によっては顕著である。このようにガイド層にGaInを用いた半導体レーザ素子では、垂直方向のFFPにリップルが生じることがあり、最悪の場合、1003のように単峰のパターンが得られないこともある。

【0040】TEモードで発振する半導体レーザ素子において、角度 θ における垂直FFP強度は、導波モードの垂直方向 x の電界分布 $E[x]$ の、係数を $(2\pi/\lambda) \sin \theta$ (λ は発光波長)としたフーリエ変換であるから、電界分布に、周期 Λ の振動成分が強くあれば、 $(2\pi/\Lambda) = (2\pi/\lambda) \sin \theta$ (1) を満たす θ の方向に、サブピークが生じることになる。この振動成分を持つ電界の分布が大きい、すなわち、電界強度が強い、もしくは、広い範囲にわたって存在するほど、リップルが顕著になることになる。

【0041】図6に示す窒化物半導体レーザ素子構造において、GaInコンタクト層の屈折率 n_{GaIn} は2.54、スラブ導波路における導波理論から導波モードの等価屈折率 n_{eq} が、2.51と見積もられ、よって、 $n_{GaIn} > n_{eq}$ の関係があるから、GaIn層中で電界 $E[x]$ は周期 Λ で振動している。数式で示すと、次のようになる。

$$\begin{aligned} \text{【0042】} \\ E(x) \sim \exp[\pm j(2\pi/\Lambda)x] \quad (2) \\ \Lambda = \lambda / (n_{GaIn}^2 - n_{eq}^2)^{0.5} \quad (3) \end{aligned}$$

$\sim 1\mu\text{m}$

この電界の振動成分により生じるリップル位置は、上式より約 23° であり、図7におけるサブピーク位置とほぼ一致する。また、p-GaInコンタクト層厚を厚くすると増大する結果は、この層への電界の分布を大きくして垂直方向FFPを悪化させていることを示していると考えられる。以上の考察および検討事実から、特に $\pm 20^\circ$ 付近に顕著に生じることの多いリップルの原因を、クラッド層の外側に存在するGaIn層(pコンタ

ト層、Ga_{0.9}N基板等)における電界の振動であると推測した。

【0043】Ga_{0.9}N層における電界の振動が原因で生じるFFPのリップルを根本的に生じなくさせるためには、上述の考察から、Ga_{0.9}N層において電界が振動成分を持たないようにすればよく、これは、(2)式におけるexp関数の引数を実数とすること、すなわち、 $n_{GaN} \leq n_{eq}$ とすればよい。この場合には、Ga_{0.9}N層における電界E[x]がx方向に減衰することになる。なお、ここでの議論では、Ga_{0.9}N層および実効屈折率の虚数成分は実数成分に比較して十分小さいので、無視している。 n_{eq} の値をこのような条件を満たすように変更できるかどうか、本発明者らが種々検討した結果、ガイド層を上述のような特定の組成・膜厚のInGa_{0.9}Nとすれば、達成できることを見出した。

【0044】本実施の形態の半導体レーザ素子は、本条件を満たす範囲で作製したところ、単峰で、かつ、図7に現われていたようなリップルは問題にならない程度(10%以下)まで抑制された垂直方向FFPが常に得られ、良好な光学特性が実現できた。

【0045】本実施の形態においても、実施の形態1と同様に、良好な劈開が可能であり、水平方向のFFPの良好な素子が実施の形態1の記載と同様に、pコンタクト層の層厚に応じて歩留まりよく得られた。その結果、垂直方向、水平方向とも、図12に示すようなめらかな単峰のFFPが得られた。

【0046】【実施の形態3】本実施の形態は、図6に該略図を示す半導体レーザ素子の各層の膜厚・組成を次のものとしたものである。n-GaN基板401(膜厚100μm)、n-GaN中間層402(膜厚3μm)、n-Al_{0.1}Ga_{0.9}N(X1=0.1)下部クラッド層403(膜厚0.8μm)、n-In_{0.1}Ga_{0.9}N(y1=0.035)下部ガイド層404(膜厚0.1μm)、In_{0.1}Ga_{0.9}N(w=0.17程度)井戸層(膜厚2nm)とIn_{0.1}Ga_{0.9}N(v=0.05)障壁層(膜厚4nm)との交互多層構造(障壁層/井戸層/.../井戸層/障壁層)からなる5重の量子井戸活性層405(発光波長410nm、総膜厚34nm)、Al_{0.2}Ga_{0.8}N(z=0.2)キャップ層406(膜厚18nm)、p-In_{0.2}Ga_{0.8}N(y2=0.035)上部ガイド層407(膜厚0.1μm)、p-Al_{0.2}Ga_{0.8}N(x2=0.1)上部クラッド層408(膜厚0.5μm)、p-GaNコンタクト層409(膜厚0.3μm)、p-GaNコンタクト層409の上面には、金属電極(例えば、Pd/Au、Ni/Pd/Au、Pd/Pt/Au、Pd/Ti/Au等)410が形成されており、また、n-GaN基板の裏面には金属電極(例えば、Ti/Al、Zr/Al、Hf/Alなど)411が形成されている。

【0047】本実施の形態の半導体レーザ素子の構成に

において、FFPを測定したところ、水平方向、垂直方向ともめらかな単峰のプロファイルが得られ、良好な放射特性が得られることが判明した。なお、室温における発振閾値は38mAであり、80℃においても連続発振動作が確認できた。本実施の形態の半導体レーザ素子の発振モードの等価屈折率を上記手法により見積もったところ、 $n_{eq}=2.547$ であり、Ga_{0.9}N層の屈折率 $n_{GaN}=2.540$ よりも大きかった。これにより、n-GaN基板401、n-GaN中間層402、p-GaNコンタクト層409等でのGa_{0.9}N層内での電界の振動成分が無くなり、よって、良好な放射特性が得られたものと考えられる。

【0048】次に、本実施の形態の半導体レーザ素子の構造から、In_{0.1}Ga_{0.9}N下部ガイド層およびIn_{0.2}Ga_{0.8}N上部ガイド層のIn組成y1およびy2と、それらの膜厚d1[μm]、d2[μm]を種々変更して、等価屈折率の値を計算したものを図8に示す。図中のドットが計算された点であり、曲線はそれらをなめらかに結ぶ線である。ここで、簡単のために、y1=y2、d1=d2とした。図示されるガイド層厚は、各ガイド層の厚さ(d1=d2)である。本図によれば、ガイド層のIn組成が0すなわち、ガイド層がGa_{0.9}Nからなる場合には、ガイド層厚を0.025~0.15と変えても、等価屈折率の値はGa_{0.9}Nの屈折率2.54を超えない。ガイド層のIn組成を0から0.09へと変化させる、あるいは、ガイド層厚を増加させるほど、等価屈折率は増大し、ガイド層厚が0.15μmの場合には、In組成0.016程度以上、ガイド層厚が0.1μmの場合には、In組成0.028程度以上、ガイド層厚が0.05μmの場合には、In組成0.057程度以上で等価屈折率の値はGa_{0.9}Nの屈折率2.54を超える。ガイド層厚が0.025μmの場合にはいずれのIn組成でも、等価屈折率の値がGa_{0.9}Nの屈折率2.54を超えることがなかった。上述のように、ここで、下部ガイド層とは、AlGa_{0.9}N下部クラッド層と、活性層とに挟まれた、Alを構成元素として含まない層のことであり、必ずしも一層の構成である必要はない。2、3、4、5層等の複数の組成の異なるInGa_{0.9}N薄膜あるいはGa_{0.9}N薄膜の積層構造やさらに多数の薄膜からなる超格子積層構造であってもよく、この場合、各薄膜の膜厚で加重平均した組成を下部ガイド層のIn組成y1とすればよい。

【0049】この事情は、実施の形態4ないし8においても同じである。また、上部ガイド層とは、AlGa_{0.9}N上部クラッド層と、活性層とに挟まれた、Alを構成元素として含まない層のことであり、必ずしも一層の構成である必要はない。2、3、4、5層等の複数の組成の異なるInGa_{0.9}N薄膜あるいはGa_{0.9}N薄膜の積層構造やさらに多数の薄膜からなる超格子積層構造であってもよく、この場合、各薄膜の膜厚で加重平均した組成を上部

ガイド層の I_n 組成 y_2 とすればよい。この事情は、実施の形態 4 ないし 9 においても同じである。

【0050】図 9 は、各ガイド層厚 ($d_1 = d_2$) に対して、等価屈折率の値が GaN の屈折率を超える時のガイド I_n 組成 ($y_1 = y_2$) を示すための図である。図中 A で示した曲線がそれである。曲線 A は、 $y_1 = 0.003/d_1 - 0.003$ で近似できる。曲線 A より上の領域、すなわち、 $y_1 \geq 0.003/d_1 - 0.003$ の範囲で、等価屈折率の値が GaN の屈折率を超えることになり、基板等の GaN 層に起因するリップルが無く、良好な光学特性を得ることができる。図 8 および図 9 での計算結果は、簡単のために上下の $I_n GaN$ ガイド層を対称すなわち、 $d_1 = d_2$ 、 $y_1 = y_2$ としたが、これが非対称であってもよく、この場合、上下ガイド層の平均厚さ、すなわち $(d_1 + d_2)/2 = d$ を、ガイド層厚と考えれば、図 8 および図 9 の関係はそのままほぼ同じであり、また、上下ガイド層の組成の加重平均、すなわち $(y_1 \cdot d_1 + y_2 \cdot d_2)/(d_1 + d_2) = y$ をガイド I_n 組成として考えれば、図 8 および図 9 の関係はそのままほぼ同じになる。ただし、実用的には非対称をあまり大きくすると、活性層への光閉じ込めに悪影響を及ぼすので、そうならない範囲におのずから限定される。実用的には、 $-0.05 \leq y_1 - y_2 \leq 0.05$ が必要であり、特に好ましくは、 $-0.03 \leq y_1 - y_2 \leq 0.03$ であるべきである。また、実用的には、 $0.33 \leq d_1/d_2 \leq 3$ が必要であり、特に好ましくは、 $0.56 \leq d_1/d_2 \leq 1.8$ である。

【0051】さらに、曲線 A で示される条件を満たす種々の構造の半導体レーザ素子を作製してみたところ、曲線 A で示される条件に近い領域、例えば、 $d = 0.1$ μm かつ、 $y = 0.03$ の場合や、 $d = 0.07$ μm かつ、 $y = 0.045$ の場合等には、必ずしも完全に FFP のリップルが防止されるわけではなく、同一ウェハ内でも、垂直方向 FFP の 0° 付近（正面付近）に微妙なリップルが生じてしまう素子が現われることがあった。これは、 $I_n GaN$ の結晶成長では、相分離すなわち、結晶中の微小な組成揺らぎが生じてしまいやすく、そのような領域において、曲線 A で示される条件を逸脱してしまう場合があり、これが、悪影響を及ぼしているものと推察される。実験的にこのような問題が生じない境界を求めたところ、 $y \geq 0.003/d + 0.002$ で表わされる範囲であれば良いことが判明し、この境界を曲線 A' として図示した。

【0052】良好な光学特性を得るための、ガイド層の組成 y 、膜厚 d は、図 9 の曲線 A、好ましくは、曲線 A' より上の領域に限定されるが、次のような要請から、ガイド層の好ましい範囲はさらに制限される。この点に関して記載の重複を避けるために、以降の実施の形態 4 ないし 7 での記載は省略されるが、以下と同じ範囲で、好ましい範囲が適用されるものである。まず、組成

に関して、井戸層にキャリアを良好に閉じ込める必要から、 $y_1 \leq w - 0.08$ 、 $y_2 \leq w - 0.08$ でなければならないことが、実験的に判明した。（図中に直線 B で境界線を示した。）この範囲を逸脱して、ガイド層の I_n 組成が大きくなり、井戸層の I_n 組成に近づくと、キャリアの閉じ込めが十分でなくなり、発振動作が見られなくなるか、閾値が非常に高くなってしまった。さらに、好ましくは、 $y_1 \leq w - 0.1$ 、 $y_2 \leq w - 0.1$ である必要があり、これにより、高温でも閾値の上昇が抑制され、 $50^\circ C$ で 1000 時間以上の寿命が確保されるようになった。（図中に直線 B' で境界線を示した。）またさらには、ガイド層の I_n 組成を障壁層の I_n 組成よりも小さくすること、すなわち、 $y_1 < v$ 、 $y_2 < v$ であることが最も好ましかった。これにより、井戸層へのキャリアの閉じこめが良好なものとなったと考えられ、この範囲に限定することで $70^\circ C$ で 1000 時間以上の寿命が確保されるようになった。

【0053】次に、大きい I_n 組成のガイド層を厚く形成すると、半導体レーザ素子の雑音特性および寿命特性に関して問題が生じることが判明した。これは、結晶成長により生じた組成揺らぎにより、活性層の組成自体が変調されることと、ガイド層自体の組成揺らぎが、活性層へのキャリア注入の空間的揺らぎを生じ、そのため、雑音特性および寿命特性に悪影響を及ぼすものと推測している。これにより、ガイド層の厚みに関しても、好ましい範囲が限定される。この点に関して記載の重複を避けるために、以降の実施の形態 4 ないし 7 では記載は省略されるが、ここに記載するものと同じ範囲で、好ましい範囲が制限されるものである。 I_n 組成が 0.01 以上の結晶の場合、 $y \leq 0.16 - 0.6d$ の範囲であれば、良好な $I_n GaN$ 膜の形成が可能であり、戻り光量が $0.001 \sim 10\%$ の範囲で、相対雑音強度が $-125 dB/Hz$ 以下の低雑音発振動作が可能であり、この範囲で室温で 1000 時間以上の寿命が確保されるようになった。（図中に直線 C で境界線を示した）より好ましくは、 $y \leq 0.13 - 0.06d$ の範囲であればよく、これにより、戻り光量が $0.001 \sim 10\%$ の範囲で、相対雑音強度が $-130 dB/Hz$ 以下の低雑音発振動作が可能であり、低雑音発振動作が可能で、かつ、 $40^\circ C$ で 1000 時間以上の寿命が確保されるようになった。（図 9 中に直線 C' で境界線を示した）

さらに、ロット歩留まり良く特性の良好なレーザ素子を得る観点からは、ガイド層厚 d は $y_1 \geq 0.02$ 、 $y_2 \geq 0.02$ の結晶に対して、 $0.12 \mu m$ であることが良く、これを越えた場合、 I_n 金属の堆積に起因して結晶成長後のウェハが黒っぽく見えることが時々生じ、このようなウェハから作製された半導体レーザ素子は特性が非常に悪いものしか得られないことがあったが（必ず生じてしまうものではない）、 $d \leq 0.12$ の範囲に限定することで、このような問題が防止された。以

上、ここで説明した最も好ましい範囲 ($y \geq 0.003$ / $d - 0.003$, $y1 \leq w - 0.1$, $y2 \leq w - 0.1$, $y1 < v$, $y2 < v$, $d \leq 0.12$) を図9中に斜線で示した。

【0054】さらに、活性層の組成を調整して、発光波長を360~480nm (20℃) の範囲としても、上述の関係式は変わらなかった。

【0055】本実施の形態においても、実施の形態1と同様に、良好な劈開が可能であり、水平方向のFFPの良好な素子が実施の形態1の記載と同様に、pコンタ

クト層の層厚に応じて歩留まりよく得られた。その結果、垂直方向、水平方向とも、図12に示すようななめらかな単峰のFFPが得られた。

【0056】〔実施の形態4〕本実施の形態は、実施の形態3における半導体レーザ素子の活性層405の構成を変更した他は実施の形態3と同じである。本実施の形態における半導体レーザ素子の活性層の構成は、In_wGa_{1-w}N (w=0.17程度) 井戸層 (膜厚2nm)、In_vGa_{1-v}N (v=0.05) 障壁層 (膜厚4nm) との交互多層構造 (障壁層/井戸層/障壁層/井戸層/障壁層) からなる2重量子井戸活性層 (発光波長410nm、総膜厚16nm) である。

【0057】本実施の形態の半導体レーザ素子の構成において、垂直方向のFFPを測定したところ、実施の形態3と同様に単峰でリップルがほとんど見られない (3%以下) プロファイルが得られ、良好な放射特性が得られることが判明した。なお、本実施の形態の半導体レーザ素子において、室温における発振閾値は25mAであり、110℃においても連続発振動作が確認できた。従来の技術のようにガイド層にGaNを用いた他は、本実施の形態と同じ構造の半導体レーザ素子を作製したところ、図7の1003と同様の、リップルのある垂直方向FFP特性であった。このように、本実施の形態によれば、光学特性の改善された半導体レーザ素子を得ることができた。

【0058】本実施の形態の半導体レーザ素子の発振モードの等価屈折率を上記手法により見積もったところ、 $n_{eq} = 2.543$ であり、GaN層の屈折率 $n_{GaN} = 2.540$ よりも大きかった。これにより、n-GaN基板401、n-GaN中間層402、p-GaNコンタクト層409等での電界の振動成分が無くなり、よって、良好な放射特性が得られたものと考えられる。

【0059】さらに、本実施の形態における活性層の構成を、In_wGa_{1-w}N (w=0.17程度) 井戸層 (膜厚2nm) とIn_vGa_{1-v}N (v=0.05) 障壁層 (膜厚4nm) との交互多層構造 (障壁層/井戸層/障壁層/井戸層/障壁層) からなる3重量子井戸活性層 (発光波長410nm、総膜厚22nm) としたところ、図12に示したものと同様に単峰で、リップルがほとんど見られないFFPプロファイルが得られ、良好な

放射特性となることが判明した。なお、この半導体レーザ素子において、室温における発振閾値は40mAであり、100℃においても連続発振動作が確認できた。この半導体レーザ素子の発振モードの等価屈折率を上記手法により見積もったところ、 $n_{eq} = 2.545$ であり、GaN層の屈折率 $n_{GaN} = 2.540$ よりも大きかった。これにより、n-GaN基板401、n-GaN中間層402、p-GaNコンタクト層409等での電界の振動成分が無くなり、よって、良好な放射特性が得られたものと考えられる。

【0060】次に、本実施の形態の半導体レーザ素子の構造から、活性層の構造を、その総膜厚を種々変更し、各活性層膜厚に対して、等価屈折率の値がGaNの屈折率を超えるときのガイド層In組成yを計算し、示したのが図10である。図によれば、活性層の膜厚が5から50nmの範囲で、等価屈折率の値がGaNの屈折率を超えるようにするためのガイド層の条件は実施の形態3 (活性層膜厚34nm) で説明したものとほとんど変わらない (In組成±0.005以内) ことがわかる。厳密には、活性層膜厚が薄いほどIn組成yを大きく設定する必要があるが、活性層膜厚10nmの場合でも実施の形態3に示した条件にIn組成を+0.005大きくする必要があるだけであり、また、活性層膜厚が厚いほどIn組成が小さくてもよいが、活性層膜厚50nmの場合でも実施の形態3に示した条件からIn組成が0.005程度小さくてもよいだけであり、実用上組成をこのレベルまで厳密にコントロールすることも難しかったため、実施の形態3に示した条件を活性層膜厚10~50nmの範囲で適用してよい。より厳密には、活性層膜厚が5~60nmのとき、図9の曲線Aで示される条件に活性層膜厚Wa [μm] による補正を加えて、 $y \geq 0.003 / d - 0.003 + (0.007 - 0.22 \times Wa)$ とすればよいことが、図10より示される。また、実施の形態3に記述したのと同じ理由により、好ましい範囲が、図9の曲線A'で示される条件に活性層膜厚Wa [μm] による補正を加えて、 $y \geq 0.003 / d + 0.003 + (0.007 - 0.22 \times Wa)$ とすればよいことが、図10より示される。

【0061】なお、本実施の形態のように、活性層が、<障壁層/井戸層/障壁層/障壁層/障壁層>の構成からなるとき、<障壁層/井戸層/障壁層/障壁層>の構成からなるとき、<井戸層/障壁層/障壁層/障壁層>の構成からなるとき、<井戸層/障壁層/障壁層>の構成からなるとき、いずれの場合においても、それら井戸層・障壁層の膜厚を加えあわせたものを活性層膜厚Waとしてよく、いずれの場合においても、本実施の形態に示した関係式は保たれるものである。

【0062】さらに、活性層の組成を調整して、発光波長を360~480nm (20℃) の範囲としても、上述の関係式は変わらなかった。

【0063】本実施の形態においても、実施の形態1と同様に、良好な劈開が可能であり、水平方向のFFPの良好な素子が実施の形態1の記載と同様に、pコンタクト層の層厚に応じて歩留まりよく得られた。その結果、垂直方向、水平方向とも、図12に示すようななめらかで単峰のFFPが得られた。

【0064】〔実施の形態5〕本実施の形態は、実施の形態3における半導体レーザ素子の上下のクラッド層の組成および活性層405の構成を変更した他は実施の形態3と同じである。本実施の形態における半導体レーザ素子の活性層の構成は、 $In_{w}Ga_{1-w}N$ ($w=0.17$ 程度) 井戸層 (膜厚2nm)、 $In_vGa_{1-v}N$ ($v=0.05$) 障壁層 (膜厚4nm) との交互多層構造 (障壁層/井戸層/. . . /井戸層/障壁層) からなる3重量子井戸活性層 (発光波長410nm、総膜厚22nm) である。本実施の形態における半導体レーザ素子のそれぞれのクラッド層の構成は、 $n-Al_{x1}Ga_{1-x1}N$ ($x1=0.13$) 下部クラッド層 (膜厚0.8 μm)、 $p-Al_{x2}Ga_{1-x2}N$ ($x2=0.13$) 上部クラッド層 (膜厚0.5 μm) である。

【0065】本実施の形態の半導体レーザ素子の構成において、垂直方向FFPを測定したところ、実施の形態3と同様に単峰でリップルがほとんど見られない (3%以下) プロファイルが得られ、良好な放射特性が得られることが判明した。なお、本実施の形態の半導体レーザ素子において、室温における発振閾値は25mAであり、110℃においても連続発振動作が確認できた。従来の技術のようにガイド層にGaNを用いた他は、本実施の形態と同じ構造の半導体レーザ素子を作製したところ、図7の1001と同様の、リップルのある垂直方向FFP特性であった。このように、本実施の形態によれば、光学特性の改善された半導体レーザ素子を得ることができた。

【0066】本実施の形態の半導体レーザ素子の発振モードの等価屈折率を上記手法により見積もったところ、 $n_{eq}=2.548$ であり、GaN層の屈折率 $n_{GaN}=2.540$ よりも大きかった。これにより、 $n-GaN$ 基板401、 $n-GaN$ 中間層402、 $p-GaN$ コンタクト層等での電界の振動成分が無くなり、よって、良好な放射特性が得られたものと考えられる。

【0067】さらに、本実施の形態における上下のクラッド層の構成を、それぞれ、 $n-Al_{x1}Ga_{1-x1}N$ ($x1=0.07$) 下部クラッド層 (膜厚0.8 μm)、 $p-Al_{x2}Ga_{1-x2}N$ ($x2=0.07$) 上部クラッド層 (膜厚0.5 μm) としたところ、実施の形態3と同様に単峰で、リップルがほとんど見られない (5%以下) 垂直方向FFPプロファイルが得られ、良好な放射特性となることが判明した。なお、この半導体レーザ素子において、室温における発振閾値は70mAであった。この半導体レーザ素子の発振モードの等価屈折率を上記手

法により見積もったところ、 $n_{eq}=2.542$ であり、GaN層の屈折率 $n_{GaN}=2.540$ よりも大きかった。これにより、 $n-GaN$ 基板401、 $n-GaN$ 中間層402、 $p-GaN$ コンタクト層等での電界の振動成分が無くなり、よって、良好な放射特性が得られたものと考えられる。

【0068】次に、本実施の形態の半導体レーザ素子の構造から、上下のクラッド層の構成を、その組成を種々変更して、上下のクラッド層のA1組成に対して、等価屈折率の値がGaNの屈折率を超えると時のガイド層In組成 y を計算し、示したのが図11である。ただし、簡単のために $x1=x2$ とした。図によれば、クラッド層のA1組成が0.055から0.145の範囲で、等価屈折率の値がGaNの屈折率を超えるようにするためのガイド層の条件はA1組成が0.1の場合 (実施の形態3ならびに4の場合) とほとんど変わらない (In組成 ± 0.005 以内) ことがわかる。詳細には、クラッド層のA1組成が大きいくほどIn組成 y を大きく設定する必要があるが、クラッド層のA1組成0.145の場合でも実施の形態3に示した条件にIn組成を+0.005大きくする必要があるだけであり、また、クラッド層のA1組成が小さいほどIn組成が小さくてもよいが、クラッド層のA1組成0.055の場合でも実施の形態3に示した条件からIn組成が0.005程度小さくてもよいだけであり、実用上組成をこのレベルまで厳密にコントロールすることも難しいため、実施の形態3に示した条件をクラッド層組成0.055から0.145の範囲で適用してよい。なお、図11では、上下のクラッド層の組成を異なるものとしたが、本発明の適用範囲はこの場合に限られるものではなく、図11を参照すれば明らかなように、クラッド層のA1組成が0.055から0.145の範囲で結果はほとんど変わらないものであるから、上下のクラッド層の組成をこの範囲内で任意に変更しても良い。

【0069】また、より厳密には、クラッド層のA1組成 x が、 $0.05 \leq x \leq 0.2$ のとき、図11の曲線Aで示される条件にクラッド層のA1組成 x による補正を加えて、 $y \geq 0.003/d - 0.003 + (-0.010 + 0.10x)$ とすればよいことが、図11より示される。また、実施の形態3に記述したのと同じ理由により、好ましい範囲が、図9の曲線A'で示される条件に活性層膜厚 W_a [μm] による補正を加えて、 $y \geq 0.003/d + 0.002 + (-0.010 + 0.10x)$ とすればよいことが、図11より示される。これらの式において、上下のクラッド層のA1組成が異なる場合には、その単純平均値 $(x1+x2)/2$ を x として考えれば良い。

【0070】さらに、 $AlGaIn$ クラッド層の構成を組成の異なるいくつかの薄層 $AlGaIn$ の交互積層からなるような、いわゆる超格子クラッド層とした場合、交互

積層膜を構成する薄層の周期が30nm以下程度であれば、モードには影響しないので、上記クラッド層の組成比 x_1 、 x_2 を、その交互積層膜の平均組成としてよく、上記の関係式はそのまま適用できる。

【0071】さらに、クラッド層の厚みを変える検討を行ったところ、下部クラッド層に関して、膜厚0.6 μ m以上であれば、上述の条件を変更する必要はなかった。また、上部クラッド層に関して、膜厚0.3 μ m以上であれば、上述の条件を変更する必要はなかった。

【0072】さらに、活性層の組成を調整して、発光波長を360~480nm(20℃)の範囲としても、上述の関係式は変わらなかった。

【0073】本実施の形態においても、実施の形態1と同様に、良好な劈開が可能であり、水平方向のFFPの良好な素子が実施の形態1の記載と同様に、pコンタクト層の層厚に応じて歩留まりよく得られた。その結果、垂直方向、水平方向とも、図12に示すようななめらかで単峰のFFPが得られた。

【0074】【実施の形態6】本半導体レーザ素子は、実施の形態2の半導体レーザ素子の変形例であり、図13に共振器方向断面(導波路部断面)の該略図を示す。本実施の形態の半導体レーザ素子の各層の膜厚・組成を次のものとしたものである。n-GaN基板501(膜厚70 μ m)の上にn-GaN中間層502(膜厚4 μ m)、n-In_{0.5}Ga_{0.5}N(c=0.07)中間層512(膜厚0.05 μ m)、n-Al_{0.1}Ga_{0.9}N(X1=0.1)下部クラッド層503(膜厚0.7 μ m)、n-In_{0.1}Ga_{0.9}N(y1=0.035)下部ガイド層504(膜厚0.1 μ m)、In_{0.1}Ga_{0.9}N(w=0.17程度)井戸層(膜厚2nm)、In_{0.5}Ga_{0.5}N(v=0.05)障壁層(膜厚4nm)との交互多層構造(障壁層/井戸層/.../井戸層/障壁層)からなる5重量子井戸活性層505(発光波長410nm、総膜厚34nm)、p-Al_{0.2}Ga_{0.8}N(z=0.2)キャップ層506(膜厚18nm)、p-In_{0.2}Ga_{0.8}N(y2=0.035)上部ガイド層507(膜厚0.1 μ m)、p-Al_{0.2}Ga_{0.8}N(z=0.2)キャップ層513(膜厚5nm)、p-Al_{0.2}Ga_{0.8}N(x2=0.1)上部クラッド層508(膜厚0.5 μ m)、p-GaNコンタクト層509(膜厚0.1 μ m)が順次積層形成されている。本実施の形態においては、下部クラッド層の下にn-In_{0.5}Ga_{0.5}N中間層512が介装されており、これは、積層構造中にクラックが導入されることを防止するための役割も果たしている。さらに、本実施の形態においては、上部ガイド層の上にp-Al_{0.2}Ga_{0.8}N(z=0.2)キャップ層513が介装されており、これは、レーザ構造の積層形成中に、Inを含んで構成されるガイド層の劣化を防止するために設けたものである。さらに、p-GaNコンタクト層509の上面には、金属電極(例えば、Pd/Au、Ni/Pd/Au、Pd/Pt/Au等)510が形成されており、また、n-GaN基板の裏面には金属電極(例えば、Ti/Al、Zr/Al、Hf/Alなど)511が形成されている。本実施の形態の半導体レーザ素子において、金属電極511はミラー端面にまで達せず、結果、その長さは共振器長さよりも小さくなっている。これは、ウェハから劈開によりミラー端面を形成する際、金属電極が劈開位置で連続していることにより、劈開が難しくなることを防止するための工夫である。本実施の形態において、GaN基板側の金属電極511がミラー端面付近において形成されてないが、これは、成長層側の金属電極510も同じようにミラー端面付近において形成されないようにしても、同様の効果がある。このように、ミラー端面付近において金属電極を形成しない技術をそれぞれ実施の形態1、2、3、4、5、7、8の半導体レーザ素子に適用しても同様の効果があり、好ましかった。

【0075】本実施の形態の半導体レーザ素子の構成において、FFPを測定したところ、図12のように単峰のプロファイルが得られ、リップルはほとんど見られず(10%以下)、良好な放射特性が得られることが判明した。なお、室温における発振閾値は55mAであり、80℃においても連続発振動作が確認できた。従来の技術のようにガイド層にGaNを用いた他は、本実施の形態と同じ構造の半導体レーザ素子を作製したところ、図7の1003と同様の、リップルのある垂直方向FFP特性であった。

【0076】本実施の形態の半導体レーザ素子の発振モードの等価屈折率を上記手法により見積もったところ、 $n_{eq}=2.547$ であり、このように、n-In_{0.5}Ga_{0.5}N中間層をクラッド層の外部に介装しない実施の形態3の場合と同じであった。これは、導波モードは、上下のクラッド層よりも内側の構造によりほぼ決定されているので、等価屈折率の値にはほとんど影響しないためであり、実施の形態3ないし5に示した等価屈折率の値がGaNの屈折率を超える条件は本実施の形態のようにクラックを防止するための層(InGaNで構成され膜厚0.1 μ m以下)を導入しても変わらなかった。さらに、等価屈折率がp-Al_{0.2}Ga_{0.8}N(z=0.2)キャップ層513を上部ガイド層と上部クラッド層の間に介装しない実施の形態3の場合と同じであったのは、p-Al_{0.2}Ga_{0.8}N(z=0.2)キャップ層513が50nm以下と薄いために、等価屈折率の値にはほとんど影響しないためであり、実施の形態3ないし5に示した等価屈折率の値がGaNの屈折率を超える条件は本実施の形態のようにクラックを防止するための層(InGaNで構成され膜厚0.1 μ m以下)を導入しても変わらなかったものである。

【0077】本実施の形態においても、実施の形態1と同様に、良好な劈開が可能であり、水平方向のFFPの

良好な素子が実施の形態1の記載と同様に、pコンタクト層の層厚に応じて歩留まりよく得られた。その結果、垂直方向、水平方向とも、図12に示すようななめらかで単峰のFFPが得られた。このように、本実施の形態によれば、光学特性の優れた半導体レーザ素子を得ることができた。

【0078】【実施の形態7】本半導体レーザ素子は、図13に該略図を示す半導体レーザ素子の各層の膜厚・組成を次のものとしたものである。n-GaN基板501 (膜厚30~300 μ m)。n-GaN中間層502 (膜厚0~30 μ m)、n-In_cGa_{1-c}N (0.01 ≤ c ≤ 0.2) 中間層412 (膜厚0~0.1 μ m)、n-Al_{x1}Ga_{1-x1}N (0.05 ≤ x₁ ≤ 0.2) 下部クラッド層503 (膜厚0.6~10 μ m)、n-In_{y1}Ga_{1-y1}N (y₁ ≤ w) 下部ガイド層504 (膜厚d₁ [μ m])、In_vGa_{1-v}N井戸層、In_vGa_{1-v}N (v < w) 障壁層との交互多層構造からなる量子井戸活性層505 (発光波長370~450nm、総膜厚Wa [μ m])、Al_zGa_{1-z}N (0 ≤ z₁ ≤ 0.3) キャップ層506 (膜厚0~50nm)、p-In_{y2}Ga_{1-y2}N (y₂ ≤ w) 上部ガイド層507 (膜厚d₂ [μ m])、p-Al_{z1}Ga_{1-z1}N (0 ≤ z₁ ≤ 0.3) キャップ層513 (膜厚0~50nm)、p-Al_{x2}Ga_{1-x2}N (0.05 ≤ x₁ ≤ 0.2) 上部クラッド層508 (膜厚0.4~10 μ m)、p-GaNコンタクト層509 (膜厚0.07 μ m~80 μ m)。ただし、d = (d₁ + d₂) / 2、y = (y₁ · d₁ + y₂ · d₂) / (d₁ + d₂)、x = (x₁ + x₂) / 2、5 ≤ Wa ≤ 60、y ≥ 0.003 / d - 0.003 + (0.007 - 0.22Wa) + (-0.010 + 0.10x) の関係式を満たす。

【0079】本実施の形態の半導体レーザ素子の構成において、FFPを測定したところ、図12に示したパターンに類似の単峰のプロファイルが得られ、リップルはほとんど見られず、良好な放射特性が得られることが判明した。

【0080】さらに、ガイド層の組成、膜厚の範囲を、y ≥ 0.003 / d + 0.002 + (0.007 - 0.22Wa) + (-0.010 + 0.10x) の関係式を満たすように限定したところ、実施の形態3に記載したのと同じ理由により、垂直方向FFPにおいて、正面(0°)付近のリップルが生じてしまう素子が現われることが防止され、望ましかった。

【0081】本実施の形態においても、実施の形態1と同様に、良好な劈開が可能であり、水平方向のFFPの良好な素子が実施の形態1の記載と同様に、pコンタクト層の層厚に応じて歩留まりよく得られた。その結果、垂直方向、水平方向とも、図12に示すようななめらかで単峰のFFPが得られた。このように、本実施の形態によれば、光学特性の優れた半導体レーザ素子を得るこ

とができた。

【0082】以上の実施の形態2ないし7の中では、上下のガイド層をInGa_Nとして説明してきたが、本発明の適用はこれに限られるものではなく、Ga_Nに添加するとその屈折率の大きくなるようなIn以外の他の元素、例えば、As、P、Tl等を添加した材料を添加した材料であってもよい。すなわち、ガイド層を、Ga_NAs、Ga_NP、Ga_NPAs、InGa_NAs、InGa_NP、InGa_NPAs、TlGa_N、TlInGa_N等としてもよい。特に、Ga_NAsの場合、これまでの実施の形態の中で説明してきたIn組成の6分の1をAs組成とすることで、変換された組成の範囲で、同様の効果が得られる。特に、Ga_NPの場合、これまでの実施の形態の中で説明してきたIn組成の4分の1をP組成とすることで、変換された組成の範囲で、同様の効果が得られる。

【0083】【実施の形態8】図14は本発明の半導体レーザ素子を示す断面図である。本半導体レーザ素子は、n-GaN基板601 (膜厚30~300 μ m) 上に、その上に順次、n-AlGaInNPAs 602 (膜厚0~30 μ m)、n-AlGaInNPAs (エネルギーギャップE_a [eV]) 下部クラッド層603 (膜厚0.4~10 μ m)、n-AlGaInNPAs (エネルギーギャップE₁ [eV]、1240/λ < E₁ ≤ E_a) 下部ガイド層604 (膜厚d₁ [μ m])、AlGaInNPAs井戸層、AlGaInNPAs障壁層との交互多層構造からなる量子井戸活性層605 (発光波長λ [nm])、p-AlGaInNPAsキャップ層606 (膜厚0~50nm)、p-AlGaInNPAs (エネルギーギャップE₂ [eV]、1240/λ < E₂ ≤ E_b) 上部ガイド層607 (膜厚d₂ [μ m])、p-AlGaInNPAs (エネルギーギャップE_b [eV]) クラッド層608 (膜厚0.3~10 μ m)、p-GaNコンタクト層609 (膜厚0.1 μ m) の各窒化物系半導体層が形成されている。さらに、p-GaNコンタクト層609の上面上には、金属電極 (例えば、Pd/Au, Ni/Pd/Au, Pd/Pt/Au, Pd/Mo/Au, Pd/W/Au等) 610が形成されており、また、n-GaN基板の裏面には金属電極 (例えば、Ti/Al, Zr/Al, Hf/Alなど) 611が形成されている。pクラッド層608の一部およびp-GaNコンタクト層609は、リッジストライプ形状に形成されており、半導体レーザの横方向光閉じ込め構造を構成している。また、金属電極610は、リッジストライプ部分のみ半導体層と接し、その他の部分には、半導体層 (pクラッド層608) とのあいだに絶縁膜612が介装されているので、電流も、このリッジストライプ部分のみを流れることとなり、電流狭窄構造も実現されている。活性層の組成は、発光波長300~800nmとなるように設定すればよい。

【0084】本実施の形態の作製方法は実施の形態1に準じる。

【0085】本実施の形態の半導体レーザ素子においては、GaN基板上に設けられた半導体レーザにおいて、p-AlGaInNPAs上部クラッド層608（膜厚0.3~10μm）上に設けられた、p-GaNコンタクト層609の膜厚が0.07μm以上であるので、良好な劈開が可能となり、従来の技術と比較して、ミラー端面に凹凸等が発生することに起因したFFPの異常が防止された。本実施の形態の半導体レーザ素子から、p-GaNコンタクト層の膜厚を0.05, 0.07, 0.1, 0.12, 0.2, 0.3, 0.5μmと、種々変更した半導体レーザ素子を作製し、各ロットごとに水平方向FFPが正常な素子の割合を調査したところ、図5に示されている実施の形態1と同様の結果が得られた。

【0086】GaN基板上に形成された窒化物系半導体の積層構造を（10-10）面に沿って劈開しようとする場合、本実施の形態や従来例の窒化物系半導体レーザ素子のような構造では、積層中に、基板とは組成の異なる材料で構成された層があり、この層は格子不整合による歪を内在しているために、劈開の際、劈開面上に凹凸ができやすい傾向があり、完全に平坦な面が得られにくいものと考えられる。特に凹凸は、劈開の際に加える力の集中する表面付近で生じやすいので、従来の技術では図4に示したような結果となったものと考えられる。しかし、本発明によると、少なくとも導波路部分（ストライプ部分）においては、基板と同一材料であるGaNからなるコンタクト層を所定の膜厚以上付加して表面を覆ったので、劈開の際に格子不整合による歪に影響されて凹凸を生じて分断されることが減少したものである。

【0087】【実施の形態9】本実施の形態は実施の形態8の変形例であり、前記下部クラッド層および前記上部クラッド層のエネルギーバンドギャップを、

$$3.5 \leq E_a \leq 3.9 \text{ eV} \text{ かつ } 3.5 \leq E_b \leq 3.9 \text{ eV}$$

の範囲に設定し、前記下部ガイド層および前記上部ガイド層の膜厚と組成を、

$$E \leq 3.492 - 0.02746 / (d - 0.035)$$

【ただし、

$$d = (d_1 + d_2) / 2,$$

$$E = (E_1 \cdot d_1 + E_2 \cdot d_2) / (d_1 + d_2)]$$

の範囲に設定してなるものである。

【0088】本実施の形態の半導体レーザ素子においては、実施の形態3ないし5に示したのと同様の理由で、垂直方向FFPもなめらかな単峰のプロファイルが得られ、良好な放射特性が得られる。以下にその理由について述べる。図15は、図9の曲線Aを、縦軸をガイド層を構成する窒化物系材料のエネルギーギャップとして描いたものである。つまり、図15における曲線Dは、等価屈折率の値がGaNの屈折率を超える時のガイド層を

構成する窒化物系材料のエネルギーギャップを示すための図であり、曲線Dの下側の領域で、基板等のGaN層に起因するリップルが無く、良好な光学特性を得ることができる。実施の形態5で説明したように、図9の関係は、AlGaNクラッド層の組成0.05~0.2の範囲でほぼ保たれ、また、エネルギーギャップが同じ窒化物系材料同士では、材料の屈折率が同程度になるので、クラッド層のエネルギーギャップ3.5≤Ea≤3.9かつ3.5≤Eb≤3.9を満たす他の窒化物系材料であれば、図9すなわち図15の関係はそのまま保たれるのである。また、特に、活性層として、実施の形態3に記載したように、360~480nmの発光波長となるような窒化物系材料を選択すれば、この関係はそのまま保たれるものである。すなわち、井戸層として、GaNAs（V族元素におけるAsの割合1~5%程度）、GaNP（V族元素におけるPの割合1~5%程度）、InGaNAAs（III族元素におけるInの割合1~10%程度、V族元素におけるAsの割合0.3~5%程度）、InGaNP（III族元素におけるInの割合1~10%程度、V族元素におけるPの割合0.3~5%程度）等を用いることができる。

【0089】本実施の形態においても、実施の形態1と同様に、良好な劈開が可能であり、水平方向のFFPの良好な素子が実施の形態1の記載と同様に、pコンタクト層の膜厚に応じて歩留まりよく得られた。その結果、垂直方向、水平方向とも、図12に示すようななめらかな単峰のFFPが得られた。このように、本実施の形態によれば、光学特性の優れた半導体レーザ素子を得ることができた。

【0090】【実施の形態10】図16は、本実施の形態の半導体レーザ装置を示す図である。本実施の形態の半導体レーザ装置は、基台31、基台31上に設置された実施の形態1ないし9の半導体レーザ素子33からなり、半導体レーザ素子33は、コンタクト層側を基台側、基板側を上にして、すなわち、ジャンクションダウンで、ロー材32によって基台に接着されている。半導体レーザ素子33に電力を供給するために接続される電線等は、図では省略されている。基台31は、いわゆるヒートシンク、ステムであり、ロー材は、Pb系、In系、Sn系、Au系などの低融点の金属や、導電性ペーストからなる接着材料である。半導体レーザ素子がジャンクションダウンでマウントされているので、熱放散が良く、例えば30mW以上の高出力で使用するのに好適である。本実施の形態の半導体レーザ素子は、コンタクト層として膜厚0.07μm以上、好ましくは0.12μm以上のGaN層が用いられているために、従来の技術のレーザ素子のように、pコンタクト層厚が0.05μm程度しかないものと比較して、ジャンクションダウンでマウントしても、ロー材が活性層に達することが少なく、よって、電流リークが防止される。また、上記の

ように、ジャンクションダウンでマウントしても、比較的厚いGa_{0.9}N層を介して、半導体レーザ素子がマウントされることになるので、特にpコンタクト層厚を0.2 μm以上とすれば、混晶材料から構成されるクラッド層や活性層が機械的なダメージから保護され、寿命特性が悪化することが少ない。

【0091】〔実施の形態11〕図17は、本実施の形態の光学式情報再生装置を示す概念図である。基台21、基台21上に設置された実施の形態1の半導体レーザ素子22、コリメータレンズ23、ビームスプリッタ24、対物レンズ25、円盤状の光情報記録盤（光ディスク）26、反射光を集光するためのレンズ27、集光された光を検出する光検出器28とからなっている。この光学式情報再生装置において、半導体レーザ素子22から出射したレーザ光は、コリメータレンズ23で平行光もしくは平行に近い光に変換され、ビームスプリッタ24を透過して、対物レンズ25により光ディスク26の情報記録面に集光される。光ディスク26の情報記録面には、凹凸もしくは磁気変調もしくは屈折率変調によりビット情報が書き込まれている。集光されたレーザ光は、そこで反射され、対物レンズ25を通してビームスプリッタ24によって分岐され、反射光を集光するためのレンズ27によって光検出器28に集光され、光学的に検出された信号を電気的信号に変換して記録情報の読み取りが行われる。

【0092】本実施の形態の光学式情報再生装置においては、FFPのリップルの抑制された光学的特性の良好な半導体レーザ素子を用いたので、対物レンズ25により光ディスク26の情報記録面に高解像に集光され、その結果、5 M/mm²もの高密度で記録された光ディスクから、ビット誤り率10⁻⁶で、書き込まれた情報を読み出すことができた。一方、実施の形態1に示された従来の技術を用いた半導体レーザ素子を図17における半導体レーザ素子21に変えて用いたところ、同様の条件のもとで、ビット誤り率10⁻³であり、実用に適さなかった。このように高密度に記録された光ディスクから、低誤り率で情報を読み出したことにより、本実施の形態の光学式情報再生装置によれば、光ディスク上への高解像の集光が可能となったことが確認された。

【0093】さらに、本実施の形態の光学式情報再生装置における半導体レーザ素子21を実施の形態2、3、4、5、6、7、8、9の半導体レーザ装置に置換したところ、いずれの場合においても、上述の条件で、ビット誤り率10⁻⁶～10⁻⁸が達成され、光ディスク上への高解像の集光が可能となったことが確認された。

【0094】

〔発明の効果〕本発明によれば、窒化物系半導体材料を用いた半導体レーザ素子において、Ga_{0.9}N基板を用い、かつ、コンタクト層の構成を所定のものとするにより、単峰でリップルの抑制されたファーフールドパ

ーンを実現でき、光学的特性の優れた半導体レーザ素子を提供できる。本発明によれば、光学式情報再生装置において、このような半導体レーザ素子を用いることにより、高解像で集光できるようになり、高密度に記録された光ディスクの読み取りが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の半導体レーザ素子を示す図である。

【図2】本発明の半導体レーザ素子の製造方法を説明するための図である。

【図3】本発明の半導体レーザ素子および従来の半導体レーザ素子の水平方向FFP特性を示す図である。

【図4】本発明の半導体レーザ素子に対する比較素子を説明するための図である。

【図5】FFP良品率を示す図である。

【図6】本発明の半導体レーザ素子を示す図である。

【図7】従来技術の半導体レーザ素子の垂直方向FFP特性を示す図である。

【図8】ガイド層In組成と等価屈折率の関係を示す図である。

【図9】本発明の半導体レーザ素子のガイド層条件を示す図である。

【図10】活性層層厚を変化させたときのガイド層条件を示す図である。

【図11】クラッド層Al組成を変化させたときのガイド層条件を示す図である。

【図12】本発明の半導体レーザ素子のFFP特性を示す図である。

【図13】本発明の半導体レーザ素子を示す図である。

【図14】本発明の半導体レーザ素子を示す図である。

【図15】本発明の半導体レーザ素子のガイド層条件を示す図である。

【図16】本発明の半導体レーザ装置を示す図である。

【図17】本発明の光学式情報再生装置を示す図である。

【図18】従来技術の半導体レーザ素子を示す図である。

【符号の説明】

101...n-Ga_{0.9}N基板

102...n-Ga_{0.9}N中間層

103...n-Al_{x1}Ga_{1-x1}N下部クラッド層

104...n-In_{y1}Ga_{1-y1}N下部ガイド層

105...量子井戸活性層

106...Al_zGa_{1-z}N (z=0.2) キャップ層

107...p-In_{y2}Ga_{1-y2}N (y2=0.035) 上部ガイド層

108...p-Al_{x2}Ga_{1-x2}N (x2=0.1) 上部クラッド層

109...p-Ga_{0.9}Nコンタクト層

110、111...電極

201...ウェハー

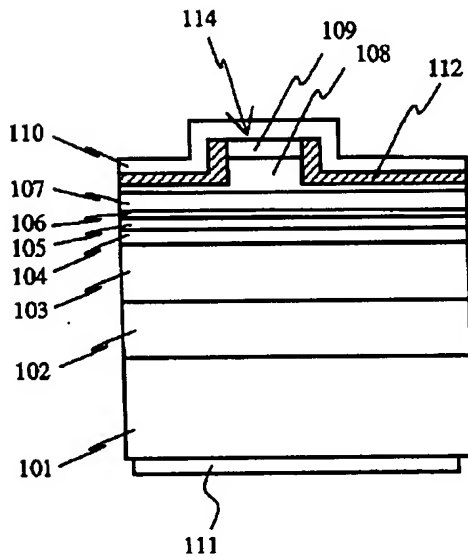
31

32

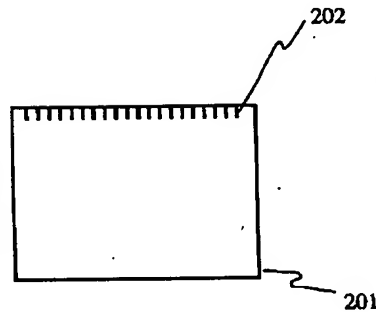
202…スクライブ溝
 401…n-GaN基板
 402…n-GaN中間層
 403…n-Al_{x1}Ga_{1-x1}N下部クラッド層
 404…n-In_{y1}Ga_{1-y1}N下部ガイド層
 405…量子井戸活性層
 406…p-Al_zGa_{1-z}Nキャップ層
 407…p-In_{y2}Ga_{1-y2}N上部ガイド層
 408…p-Al_{x2}Ga_{1-x2}N上部クラッド層
 409…p-GaNコンタクト層
 410、411…電極
 412…n-In_cGa_{1-c}N中間層
 413…p-Al_{z1}Ga_{1-z1}Nキャップ層
 501…n-GaN基板
 502…n-GaN中間層
 503…n-Al_{x1}Ga_{1-x1}N下部クラッド層
 504…n-In_{y1}Ga_{1-y1}N下部ガイド層
 505…量子井戸活性層
 506…p-Al_zGa_{1-z}Nキャップ層
 507…p-In_{y2}Ga_{1-y2}N上部ガイド層
 508…p-Al_{x2}Ga_{1-x2}N上部クラッド層
 509…p-GaNコンタクト層
 510、511…電極
 512…n-In_cGa_{1-c}N中間層

513…p-Al_{z1}Ga_{1-z1}Nキャップ層
 601…n-GaN基板
 602…n-AlGaInNPAs中間層
 603…n-AlGaInNPAs下部クラッド層
 604…n-AlGaInNPAs下部ガイド層
 605…量子井戸活性層
 606…p-AlGaInNPAsキャップ層
 607…p-AlGaInNPAs上部ガイド層
 608…p-AlGaInNPAs上部クラッド層
 10 609…p-GaNコンタクト層
 610、611…電極
 612…絶縁膜
 21…基台
 22…半導体レーザ
 23…コリメータレンズ
 24…ビームスプリッタ
 25…対物レンズ
 26…光ディスク
 27…レンズ
 20 28…光検出器
 31…基台
 32…ロー材
 33…半導体レーザ素子

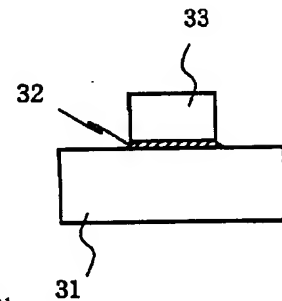
【図1】



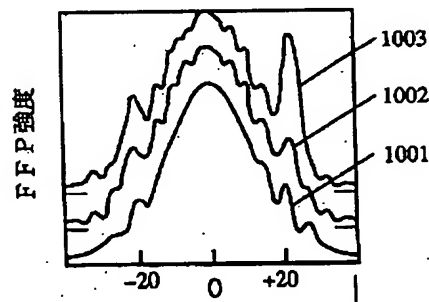
【図2】



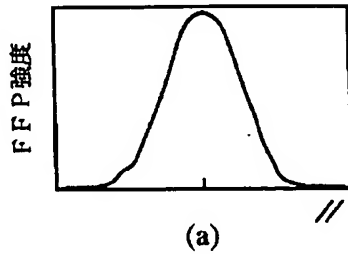
【図16】



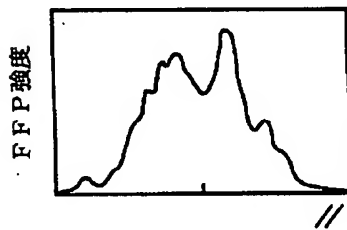
【図7】



【図3】

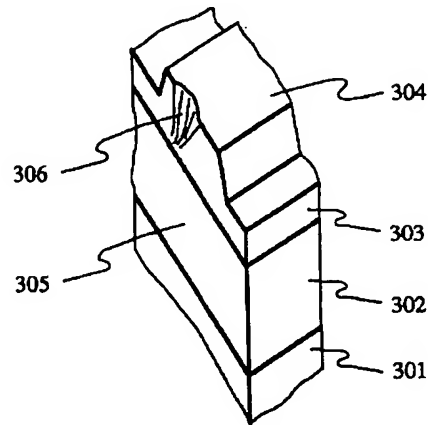


(a)

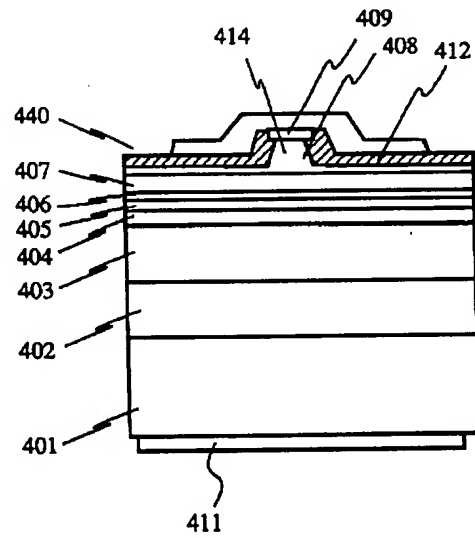


(b)

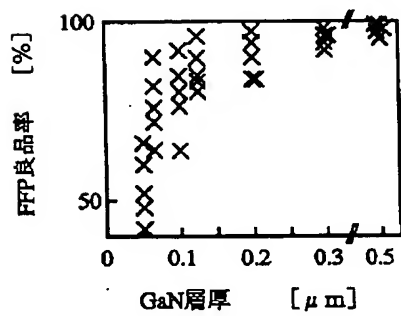
【図4】



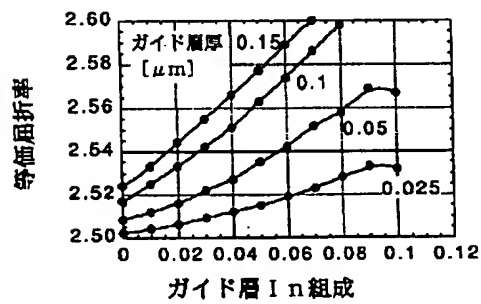
【図6】



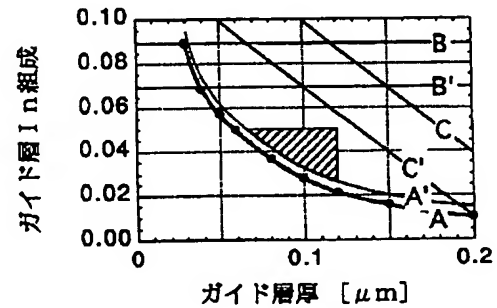
【図5】



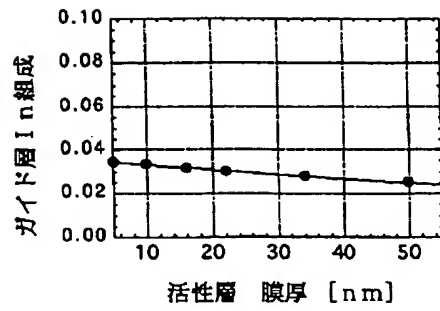
【図8】



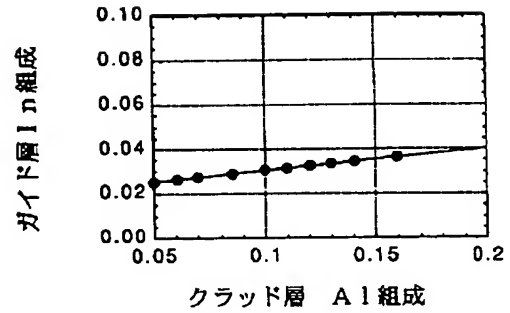
【図9】



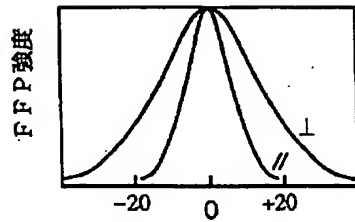
【図10】



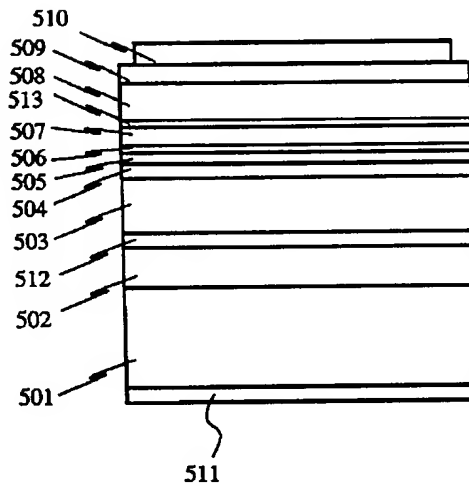
【図11】



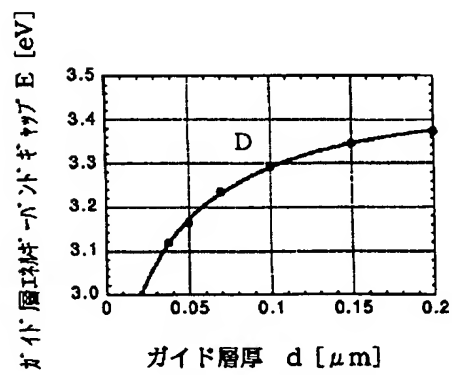
【図12】



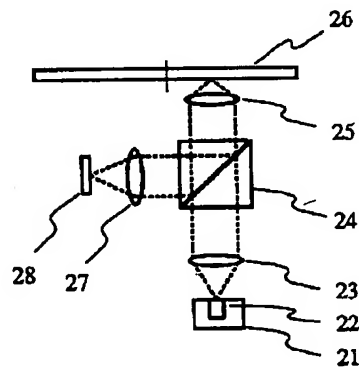
【図13】



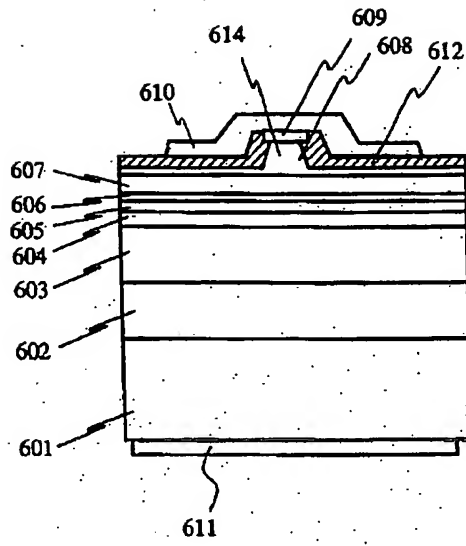
【図15】



【図17】



【図14】



【図18】

